

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci  
nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Obor 23-07-8

strojírenská technologie

zaměření

Tváření kovů a plastických hmot

Katedra tváření a plastů

O V Ě Ř E N Í T E C H N O L O G I C K Ě H O  
P O S T U P U T V A R O V Á N Í D E S E K  
Z P L A S T Ů Z A S T U D E N A

DP-ST-1974/81

Pavel Novák

Vedoucí práce: ing. Josef Krebs CSc

Konzultant: ing. O. Líkař, AZNP, Mladá Boleslav

Rozsah práce a příloh

Počet stran	73
Počet příloh	1
a tabulek	12
Počet obrázků	22
Počet výkresů	1
Počet modelů nebo jiných příloh	

DT

Datum 13.5.1981

Vysoká škola

Katedra

Fakulta

Školní rok

## DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro

obor

Protože jste splnili požadavky učebního plánu, zadává Vám vedoucí katedry ve smyslu směrnic ministerstva školství o státních závěrečných zkouškách tento diplomový úkol

Název tématu

### Pokyny pro vypracování

Autorské právo se řídí podmínkami  
MŠK pro státní závěrečné zkoušky  
Vysoké školy učebního plánu  
Vysoké školy učebního plánu  
Vysoké školy učebního plánu

VYSOKÁ ŠKOLA LIBEREC  
Ústřední knihovna  
LIBEREC  
PSC 460 02

Rozsah grafických laboratorních prací:

Rozsah průvodní zprávy:

Seznam odborné literatury:

- 
- 
- 

Vedoucí diplomové práce: • •

Konsultanti:

Datum zahájení diplomové práce: • •

Datum odevzdání diplomové práce: • •

L. S.

.....  
Vedoucí katedry

.....  
Děkan

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci  
vypracoval sám s použitím uvedené literatury.

V Liberci, dne 18. 5. 1981

*Novák Pavel*

## OBSAH

1. ÚVOD	6
2. TEORETICKÁ ČÁST	7
2.1. - Stávající poznatky o vlastnostech termoplastů	7
2.1.1. - Mechanické vlastnosti termoplastů	8
2.1.2. - Struktura polymerů z hlediska mech. vlastností	12
2.1.3. - Analogie mezi lisováním desek z termoplastů a plechů	14
2.2. - Stávající poznatky z hlediska hodnocení tvarovatelnosti	17
2.2.1. - Přehled zkoušek používaných k hodnocení tvářitelnosti plechů - aplikace na P.H.	20
2.3. - Stávající poznatky o metodách plošného tváření z desek z termoplastů za studena	25
2.4. - Shrnutí poznatků z hlediska rozměrové stálosti a přesnosti	29
2.4.1. - Rozměrová stálost	29
2.4.2. - Rozložení tloušťky stěny	30
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	31
3.1. - Návrh materiálu vhodného pro technologii tváření plastů za studena	33
3.2. - Návrh přístříhu a tvaru výtažku	35
3.3. - Návrh nástroje - volba stroje	36
3.4. - Praktické tváření	44
3.5. - Stanovení mezní rychlosti tažení	46
3.6. - Mezní koeficient tažení	47
3.7. - Změna hustoty výtažku po procesu tváření	47
3.8. - Vyhodnocení experimentální části - naměřené hodnoty	49

3.8.1. - Stanovení mezní rychlosti tažení, maximální hloubka tahu	49
3.8.2. - Mezní koeficient tažení	51
3.8.3. - Rozměrová stálost	55
3.8.4. - Rozložení tloušťky stěny	57
3.8.5. - Stanovení rozložení hustoty výtažku po procesu tažení	60
3.9. - Zhodnocení experimentálních výsledků	61
3.9.1. - Stanovení mezní rychlosti tažení	61
3.9.2. - Mezní koeficient tažení	62
3.9.3. - Rozměrová stálost	64
3.9.4. - Rozložení tloušťky stěny	65
3.9.5. - Stanovení rozložení hustoty	66
4. VYMEZENÍ POUŽITELNOSTI METODY TVÁŘENÍ PLASTŮ ZA STUDENA	67
4.1. - Závěr	70
5. POUŽITÁ LITERATURA	72
6. PŘÍLOHA	73

## 1. ÚVOD

Tváření kovů za studena je moderní technologie, která je ekonomicky velmi efektivní. Proto se její využití stále zvyšuje.

V poslední době se projevuje snaha aplikovat tuto perspektivní technologii i na termoplastické hmoty. Tato aplikace by umožnila řadu ekonomických výhod. Bylo by možno použít strojů i zařízení běžně užívaných při tváření plechů. Ekonomický efekt by se zvýšil tím, že pracovní tlaky mohou být až o 80 % nižší než u plechů a odpad může být zpětně použit /1/. Velký ekonomický přínos vyplývá i z podstatného zkrácení cyklu oproti tváření za tepla, neboť odpadá doba ohřevu a chladnutí materiálu.

Z toho plyne, že nová technologie zpracování termoplastů za studena je velice progresivní, avšak její zavedení do praktické výroby vyžaduje vývoj nových vhodných plastických hmot. Jedná se především o materiály typu ABS. Tím vznikají předpoklady pro praktické zavedení této metody do praxe. Úkolem této diplomové práce je prakticky ověřit tuto novou technologii a určit vhodnost aplikace této metody pro praxi. Práce by měla být výchozí pro řešení dalších úkolů vyplývajících z problematiky tváření plastů za studena.

2. T E O R E T I C K Á Č A S T



## 2.1. STÁVAJÍCÍ POJMATKY O VLASTNOSTECH THERMOPLASTŮ

Na vhodnost materiálu tváření mají rozhodující vliv jeho mechanické vlastnosti.

Některých mechanických vlastností, např. tvárnosti, která je definována jako schopnost materiálu přetvářet se bez porušení, se používá přímo k posuzování vhodnosti materiálu tváření.

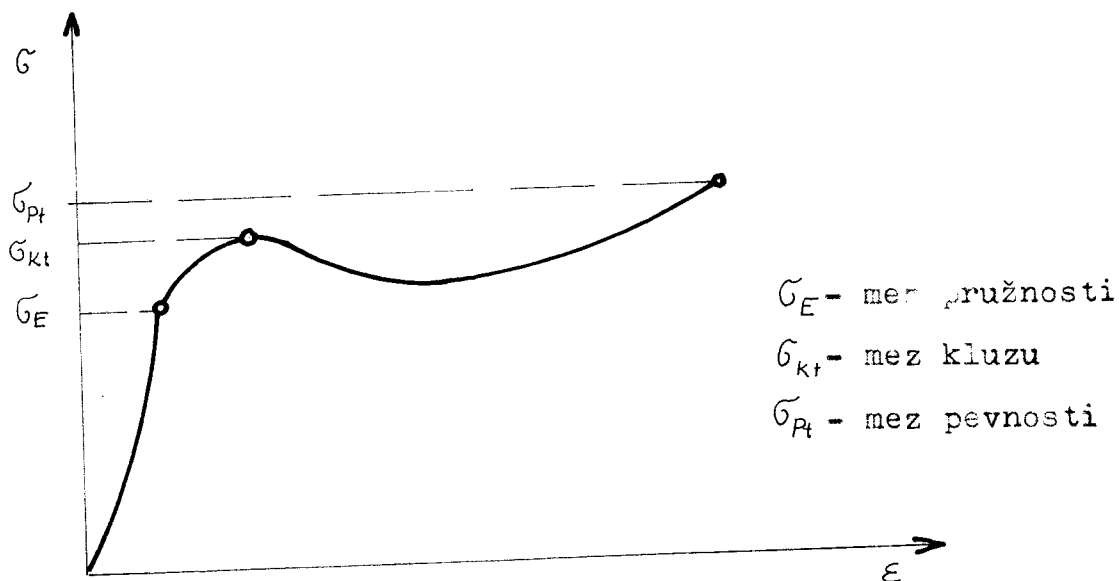
Na mechanické vlastnosti má závažný vliv struktura materiálu /viz kapitola 2.1.2./.

### 2.1.1. MECHANICKE VLASTNOSTI THERMOPLASTŮ

Mechanické vlastnosti plastů se dají vystihnout pojmy: pružnost, plastičnost, pevnost, houževnatost, tvrdost, tažnost a pod. Převědeme-li tyto základní vlastnosti na funkci tří proměnných - napětí, deformace, čas, můžeme dosáhnout poměrně přesného vyjádření mechanických vlastností.

Vystavíme-li tuhé těleso náhlému konstantnímu neperiodicky proměnnému zatížení, vytváří se v materiálu napětí, které má za důsledek jednak dokonale pružnou deformaci a jednak plastickou deformaci materiálu. Klasická teorie pružnosti, daná zobecněným Hookeovým zákonem, je pro plastické usady použitelná jen pro malá, krátkodobě působící napětí. Pro plasty platí převážně nelineární vztahy, které jsou navíc závislé na době působení zatížení. Pro posouzení pevnosti vycházíme ze zjednodušených podmínek tím, že učiníme časový faktor konstantním /to znamená, že postupujeme v určitém smluveném časovém sledu/. Obvykle se postupuje tak, že konstantní rychlostí zvětšujeme deformaci a zaznamenáváme růst napětí v závislosti na deformaci až do porušení materiálu.

Záznam závislosti mezi napětím a odpovídající deformací se nazývá tahová křivka /viz obr. 1 /.



Obr. 1 Trhací diagram pro plastické hmoty.

Tuto křivku získáme zpravidla na trhacích strojích, které umožňují vyvození konstantní rychlosti deformace.

Vedle pružné deformace, která se řídí Hookeovým zákonem, se zde projevuje tok, který probíhá konstantní rychlostí /závislou na velikosti zatížení/, a který vede k odchylkám od lineárního chování. Po odtížení zůstává určitá trvalá deformace, jde tedy o tok nevratný /viskozní/. Takováto deformace se nazývá trvalá, neboli plastická. U některých polymerů dochází po předchozí deformaci k vratným změnám tvaru. Je to způsobeno vratným /viskoelastickým/ tokem. Tyto změny tvaru se nazývají tvarová paměť.

Nastává-li nevratný tok již při malých hodnotách zatížení, nemá takováto hmota mez kluzu. Dochází-li k vyvolání toku až po dosažení určitého napětí, nazývá se tato hodnota napětím na mezi kluzu.

Po dosažení meze kluzu  $\sigma_{kt}$  napětí u plastických hmot zpravidla klesá, což je způsobeno částečným borcením vnitřní struktury materiálu /viz obr. 1 /.

Mezní hodnota napětí, při němž dojde k rozrušení materiálu se nazývá mez pevnosti  $\sigma_{pt}$ . Plocha, vymezená osou, tahovou křivkou a souřadnicí jejího koncového bodu, je mírou houževnatosti materiálu. Tato plocha odpovídá práci, kterou je třeba vynaložit k úplnému porušení hmoty /4/.

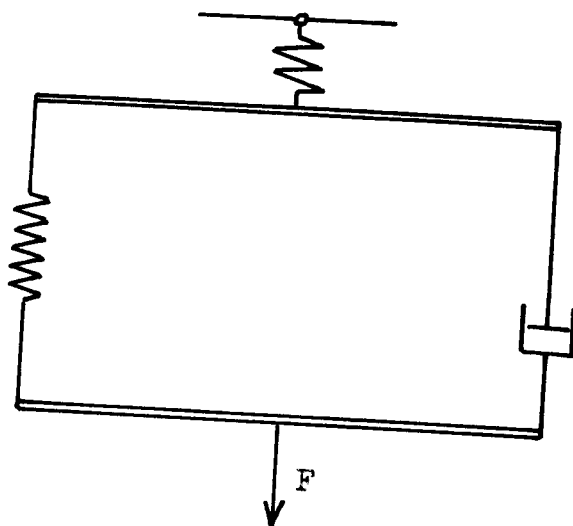
Velikost deformace závisí značnou měrou na rychlosti deformace a na teplotě. Při vyšších hodnotách rychlosti je velikost deformace nižší, než při rychlostech nižších. Při odtěžování /klesající deformace/ se odtěžovací křivka liší od křivky zatěžovací. Hovoříme o t.zv. hysterizi /1/. Při pomalém zatěžování a odtěžování dochází k větší hysterizi než při deformaci rychlé.

U orientovaných polymerů se uplatňují účinky anizotropie, což znamená, že materiál má v různých směrech různé mechanické vlastnosti.

Mechanické vlastnosti plastů závisí rovněž ve značné míře na teplotě. Je to dáno změnami, které vznikají ve struktuře těchto látek vlivem teploty /viz kapitola 2.1.2./.

Pro znázornění základních principů mechanických vlastností materiálů se užívá mechanických modelů, které umožňují i matematické vyjádření dílčích jevů deformace a jejich celkové souhry. Mechanické modely pracují se dvěma základními elementy: ideálně pružným členem, který nám znázorňuje pružnou deformaci a deformací ideálního toku. Deformace ideálního toku je znázorněna válcem s pístem. Píst se pohybuje ve válci naplněným kapalinou.

Vhodnou kombinací těchto dvou základních modelů lze sestavit složitější modely, které vystihují mechanické vlastnosti plastů obecněji. Model, který se blíží skutečnému chování viskoelastických hmot znázorňuje obrázek 2.



Obr. 2. Model viskoelastického chování plastů.

Jde o model s částečně zpožděnou deformací, který postihuje důležitou vlastnost plastických hmot, t.zv. tvarovou paměť.

Abychom mohli vystihnout skutečné chování plastů, museli bychom sestavit tyto modely do viskoelastického spektra, podle něhož se deformace rozkládá na nekonečnou řadu článků s tlumenou elasticitou /4/ /1/. Matematické vyjádření je velmi složité.

### 2.1.2. STRUKTURA POLYMERŮ Z HLEDISKA MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ

Struktura plastů je dána chemickým složením, velikostí a tvarem molekul i vzájemným rozložením molekul ve hmotě. To vše má vliv na mechanické vlastnosti plastů. Molekuly plastů vznikají z atomů jednotlivých prvků působením primárních vazebných sil /4/, z nichž u makromolekulárních látek má podstatný význam vazba kovalentní /chemická/. Soudržnost molekul v tuhých látkách způsobují síly sekundární /van der Waalsovy/. Dostí značný vliv mají také interakce způsobené propletením řetězců makromolekul a zaklesnutím bočních řetězců. Mezimolekulární přitažlivé síly mohou být někdy tak velké, že se vyrovnají chemickým vazbám a nebo je i předčí.

Značnou pevností a výhodnými mechanickými vlastnostmi se vyznačují právě takové hmoty, které mají chemickými vazbami vytvořené velké molekuly, avšak celková soudržnost hmoty je dána mezimolekulárními silami mezi těmito makromolekulami /4/ /1/. Struktura hmoty může být amorfní /beztvará/ jako např. kopolymery ABS, nebo krystalické, vzniklé paralelním uspořádáním molekul. Krystalické hmoty mají vysoké moduly pružnosti, protože je u nich možná pouze dokonale pružná deformace, spočívající v malé změně valenčních úhlů. Tyto hmoty mají sice velkou pevnost v tahu, ale chybí jim především houževnatost. Mechanické vlastnosti amorfních látek vyplývají ze vzájemné pohyblivosti řetězců makromolekul. Určitý posun částic umožňuje rovnoměrné rozložení sil při mechanickém namáhání. Avšak pro snadnou pohyblivost molekul hmota teče a nemá dostatečně vysokou pevnost. Rozlišujeme tak zvaný Brownův mikropohyb, což je pohyb jednotlivých úseků

molekuly, při čemž se nemění vzájemná poloha těžišť molekul a Brownův makropohyb, což je vzájemný pohyb celých molekul /viskozni tok/. Vhodné mechanické vlastnosti může mít jen hmota, u které se projevuje pouze Brownův mikropohyb. Tyto hmoty mívají vláknité uspořádání molekul. Vlákna jsou spolu vzájemně propletena a tím je blokován jejich pohyb /4/. Vzájemný skluz podmiňující hlavně soudržné síly, připadající na jednotku délky řetězce a geometrická hladkost a ohebnost řetězce. Většina makromolekulárních látek jsou částečně krystalické, t. zn., že se v nich vyskytují amorfni a krystalické oblasti současně. Amorfni a krystalické podíly nejsou od sebe výrazně odděleny, takže jedna molekula může současně náležet k různým oblastem.

Krystalické oblasti vznikají paralelním uspořádáním částí molekul a spolu s amorfni oblastmi tvoří strukturu makromolekulární látky v tuhém stavu. Struktura polymerů je závislá na teplotě. Při vzrůstu teploty dochází k tání krystalických oblastí a uvolňování molekul. Tím je umožněn Brownův makropohyb a snadno dochází k viskozni toku. Polymerní látky tvořené lineárními molekulami lze přivést do orientovaného stavu buďto zahřátím do oblasti měknutí nebo i při nižších teplotách mechanickým namáháním. Tento stav vzniká vzájemným tokem a skluzem molekul, které se pod vlivem vnějšího namáhání rovnají do směru blízkého směru hlavního namáhání. Dloužení vzniká při protažení buď současně podél celého vzorku, nebo vzniká v určitém místě zaškracení.

Orientace molekul ovlivňuje téměř všechny fyzikální vlastnosti. Krystalinické polymery /částečně amorfni/ jsou i při poměrně vysokém modulu pružnosti velmi houževnaté, protože energie nárazu se pohltí "roztavením" krystalinických podílů.

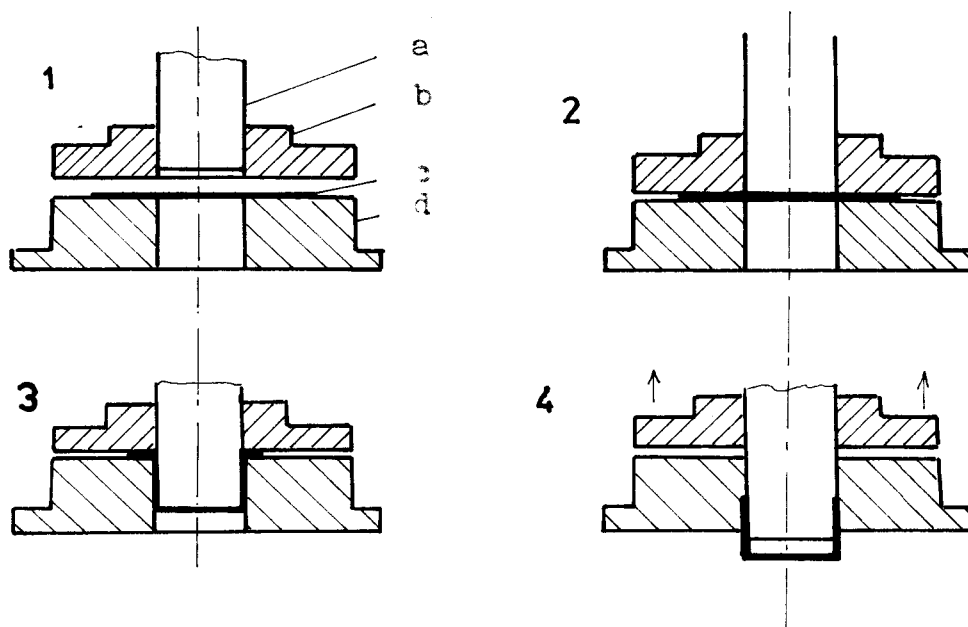
Mezi typické polymery s krystalinickou strukturou patří polyamidy, polyetylen a polyvinylchlorid /4/.

Mechanické vlastnosti termoplastů lze prostřednictvím jejich struktury ovlivňovat. Příkladem je termoplastický materiál typu ABS /koopolymer-akrylonitril-butadien-styren/. Polymery jsou z hlediska svého složení heterogenní. Tuhou fází tvoří koopolymer styrenakrylonitril, dispergovaná fáze je tvořena elastomerem na bázi butadienového kaučuku. Zavedením kaučukové složky do polystyrenové matrice bylo dosaženo význačného zlepšení houževnatosti. Ostatní mechanické vlastnosti jako pevnost v tahu a tuhost zůstávají na úrovni polystyrenu. Zavedením akrylonitrilu do této skladby dosáhneme podstatného zvýšení všech těchto vlastností. Vhodnou skladbou všech zúčastněných složek lze dosáhnout výhodné kombinace vlastností se zaměřením na ty vlastnosti, které jsou pro danou aplikaci nejdůležitější. Jelikož mým úkolem je tváření plastů za studena a tento plast se jeví z hlediska svých vlastností jako nejvhodnější, volím tento materiál jako výchozím pro tuto operaci /4/.

### 2.1.3. ANALOGIE MEZI LISOVÁNÍM DESEK Z TERMOPLASTU A PLECHU

Technologie zpracování plechů lisováním nebo hlubokým tažením, patří mezi běžně užívané strojírenské technologie. Význam zpracování plechů tvářením v současné době stále roste. Je to dáno např. vysokou efektivností a dobrou možností automatizace této technologie. Z těchto důvodů je zřejmé, že myšlenka použít technologii tváření za studena i pro zpracování plastických hmot vznikla současně s tím, jak byly vyvíjeny materiály, které by tuto technologii umožňovaly.

Princip lisování termoplastických desek za studena je stejný, jako u zpracování plechů /viz obr. 3 /.  
 Nástřih požadovaného tvaru vystřižený z desky termoplastického materiálu c je umístěn v tažném nástroji mezi přidržovací deskou b a tažnicí d.



Obr. 3 : Princip tažení.

K vlastnímu tažení dochází pohybem tažníku a proti tažnici, přičemž je tvarovaný materiál vtahován přes tažnou hranu do tažné mezery. Aby nedocházelo ke zvlnění okrajů taženého polotovaru je okraj přístřihu držěn silou přidržovače. Výtažek je po ukončení procesu vyhozen zpravidla vyhazovačem.

Tímto způsobem lze vyrábět jakékoli poloduté tenkostěnné výrobky a polotovary /1/ /5/.

Popsaný princip je stejný jak pro tváření plechů, tak pro tváření plastických hmot.



Z toho vyplývá, že pro tváření plastů za studena lze využít většiny poznatků získaných při tváření plechů. Největší rozdíly mezi tvářením plastů a tvářením plechů bude ležet v oblasti strukturních změn při procesu tváření. Tyto rozdíly vyplývají z rozdílné struktury obou uvažovaných materiálů. Tím je dáno i rozdílné chování při různých stavech napjatosti.

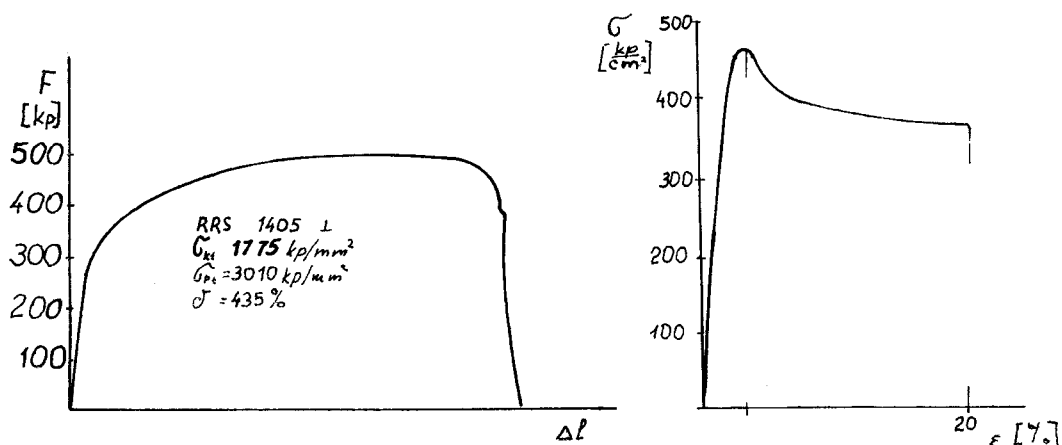
Z hlediska vnějších jevů lze však lisování plastických hmot s lisováním plechů dobře srovnávat. Pro lisování plastů lze využít všech postupů, užívaných pro lisování plechů. Nástroje mají ovšem rozdílné tažné vůle a poloměry zaoblení viz kapitola 3.3. Dále je zde rozdíl v rychlosti tažení, tažné síly a síly přidržovače /3/, což je objasněno v kapitole 3.3. Tažení lze stejně jako u kovů provádět na dva i více tahů. Podle /3/ lze stejný výtažek na jaký by bylo u plechů třeba šest tahů, táhnout z termoplastu na dva tahy /1/. Pro lisování termoplastů lze využít i stejných tvářecích strojů jako pro lisování plechů. Pro tváření plastů za studena lze využít i jiných způsobů tváření obvyklých při tváření kovů. Je to např. válcování termoplastických desek za studena /2/, /3/ a tokování, které se provádí v zápustkách za mírně zvýšených teplot, ovšem pod teplotu měknutí plastu. Dále je možno termoplastické desky tvářet pomocí pružné membrány nebo gumovým polštářem /3/ viz kapitola 2.3.

Z toho plyne, že technologie tváření plechů a tváření plastů za studena si jsou velmi blízké. Výrobky z termoplastů mají navíc řadu výhod. Jsou lehké, dobře odolné proti korozi a mají dobré elektroizolační vlastnosti. Rovněž je důležitá menší energetická náročnost při tváření. Tyto specifické vlastnosti výlisků z plastů je předurčuje k tomu, aby nahradily výrobky dosud vyráběné z plechu, či jiného polotovaru.

## 2.2. STÁVÁJÍCÍ POZNATKY Z HLEDISKA HODNOCENÍ TVAROVATELNOSTI

Aplikace na zkoušení tvářitelnosti vytlačovaných desek z termoplastů.

Podobnost mezi tvářením hlubokotažných plechů a hlubokým tažením vytlačovaných termoplastických desek nabízí myšlenku využít zkušebních metod vypracovaných pro posuzování tvářitelnosti plechů i pro zjišťování vhodnosti některých termoplastů pro hluboké tažení. Musíme však mít stále na zřeteli rozdílné materiálové vlastnosti plechů a termoplastických desek, které ovlivňují jejich chování při tváření. Značné rozdíly jsou například patrné již při porovnání tahových diagramů hlubokotažného plechu /obr.4 / a termoplastického materiálu ABS používaného k tažení /obr.5 / /1/.



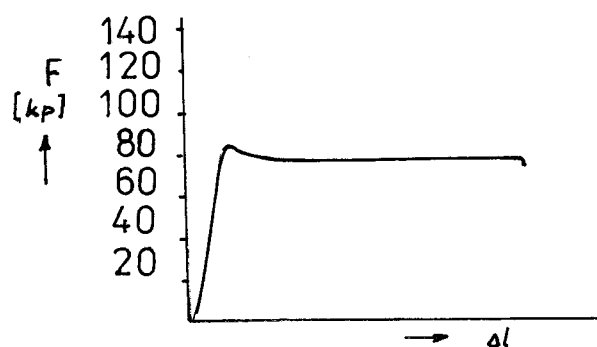
Obr. 4 Záznam tahové zkoušky  
hlubokotažného plechu

Obr. 5 Záznam tahové  
zkoušky materiálu  
Novodur PVM /1/

Tyto rozdíly jsou dány naprosto rozdílnou strukturou těchto materiálů. Zatím co u kovů, speciálně u ocelí, je vnitřní stavba i mechanismus chování při tváření poměrně detailně prozkoumán, u plast. hmot se pro

složitost a neuspořádanost vnitřní stavby o exaktním vyjádření nedá dosud hovořit.

Zatím co u kovů dochází po překonání meze kluzu ke zpevnování, které je způsobeno známými mechanismy pohybu dislokací, chování plastických hmot je v tomto směru zcela odlišné. Všimneme-li si závislosti  $\sigma$ - $\epsilon$  typického ABS /obr.5 / vidíme, že do dosažení meze kluzu je podíl plastické deformace poměrně malý a elastická deformace zde převažuje. Po překročení maximální hodnoty síla klesá zprvu rychle, později jen pozvolna, až do přetržení tyče. U některých materiálů dochází po počátečním poklesu k takové stabilizaci napětí, že průběh křivky je až do porušení téměř zcela vodorovný /viz obr.6/.



Obr. 6 Záznam tahové zkoušky jednoho z typů materiálů ABS.

Tuto stabilizaci napětí je možno vysvětlit z hlediska struktury makromolekulárních látek orientací molekul pod vlivem působícího napětí do směru, v němž mohou působícímu napětí nejlépe odolávat, t.j. do směru rovnoběžného se směrem působení napětí. Při tom dochází u některých termoplastů ke vzniku "krčku" /viz kap. 2.1./,

jiné materiály, např. materiály ABS výrazný krček netvoří a deformace probíhá po celé délce zkoušené tyče rovnoměrně. Další vlastnosti, kterými se chování polymerů výrazně odlišuje od chování ocelí, je značné odpružení po uvolnění působícího zatížení a výrazný sklon k tečení při konstantním zatížení /viz kap. 2.1./.

Tyto vlastnosti spolu s velkým vlivem teploty na chování polymerů naznačují, že zkoušky tvářitelnosti, tak jak jsou vypracovány pro zkoušení hlubokotažných plechů, nebude možno použít pro desky z termoplastů bez změn avětších nebo menších úprav v metodice zkoušek.

V těchto počátečních fázích výzkumu tvářitelnosti termoplastů za studena mohou však být zkoušky hlubokotažnosti plechů dobrým vodítkem. Proto zde uvedu stručný přehled zkoušek užívaných pro hodnocení tvárnosti ocelových plechů /5/.

## 2.2.1. PŘEHLED ZKOUŠEK POUŽÍVANÝCH K HODNOCENÍ TVÁŘITELNOSTI PLECHŮ

Pro hodnocení tvářitelnosti plechů je vypracována celá řada zkoušek. Dají se zhruba rozdělit do dvou skupin:

A/ Zkoušky umožňující exaktní formy vyjádření vztahů mezi napětím a deformacemi.

Tyto zkoušky se provádějí v zjednodušených podmínkách jednoosé napjatosti /zkouška tahem, přerušovaná zkouška tahem/ nebo dvojosé napjatosti /zkouška hydrostatická/.

B/ Zkoušky technologické jsou charakteristické tím, že se při nich neměří hodnoty zátěžných sil /napětí/, nýbrž pouze deformace za definovaných podmínek zatěžování. Tyto zkoušky více nebo méně vystihují samotné procesy tváření, probíhají v tažném nástroji. Deformace získané při technologických zkouškách však nemohou být chápány jako universální ukazatelé tvárnosti při různých technologiích zpracování, ani při různých rozměrech výtažku.

Prostá zkouška tahem /ČSN 03010/

Z diagramu prosté zkoušky tahové lze získat tři základní hodnoty /viz obr. 1 /:

a/ mez pevnosti  $\sigma_{pt}$

b/ mez kluzu  $\sigma_{kt}$

c/ tažnost  $\delta$

K hodnocení tvářitelnosti plechů se používá těchto tří ukazatelů:

1/ tažnost

2/ hodnota poměru  $\sigma_{kt}/\sigma_{pt}$

3/ hodnota  $A = \delta \cdot (\sigma_{pt} - \sigma_{kt})$

Všechny tři tyto ukazatele mají víceméně informativní charakter. Nejstarší a neupoužívanější je posuzování tvářitelnosti podle tažnosti  $\mathcal{J}$ , které však pro svůj nekomplexní charakter /nebere zřetel na  $\sigma_{KT}$  a  $\sigma_{PT}$  / je pro posuzování hlubokotažnosti nevhodný. Hodnoty poměru  $\sigma_{KT} / \sigma_{PT}$  se užívá spíše jen pro posuzování změn plechů při stárnutí. Nejkomplexnější pohled na materiál dává ukazatel A.

#### Prohloubená zkouška tahem

Z diagramu získaného při prohloubené zkoušce tahem lze zjistit ukazatel t.zv. maximální rovnoměrné deformace. Je to plastická deformace limitovaná okamžikem, kdy přírůstek zatěžovací síly  $dP = 0$ , to znamená v okamžiku, kdy se na tyčce začne tvořit krček.

Jinou metodou vyhodnocování prohloubené zkoušky tahem je aproximace diagramu  $\sigma = \sigma(\epsilon)$  mocninový vztahem

$$\sigma_i = c \cdot \varphi_i^n$$

kde  $\sigma_i$  je skutečné napětí při zkoušce tahem

$\varphi_i$  je skutečná logaritmická deformace

$c, n$  jsou materiálové konstanty.

Kritická hodnota  $n_k$  je při jednoosé napjatosti totožná s hodnotou  $\mathcal{J}_m$ . Tento způsob se nazývá metoda přímá. Hodnotu  $n$  lze stanovit také t. zv. metodou nepřímou, která je založena na tom, že tahovou zkoušku přerušujeme /přerušovaná zkouška tahem/ a zjišťujeme okamžité hodnoty napětí  $\sigma_i$  a deformace  $\varphi_i$ .

Vyneseme-li tyto hodnoty v logaritmických souřadnicích do grafu, dostaneme přímku, jejíž směrnici je právě hodnota  $n$ , jak vyplývá ze zlogaritmovaného vztahu

$$\log \sigma_i = \log c + n \cdot \log \varphi_i$$

## Zkouška hydrostatická

Podstata této zkoušky spočívá v tom, že se jedná o tažení v kruhové tažnici do volného prostoru. Používá se výhradně k nepřímému stanovení materiálové charakteristiky  $n$ . Vzhledem k tomu, že na vrcholu výtažku se předpokládá stav dvojosé napjatosti, umožňuje hydrostatická zkouška získat křivku zpevnění pro dvojnásobný rozsah intenzity přetvoření oproti jednoosé napjatosti při zkoušce tahem.

## Zkouška hloubení dle Erichsena /ČSN 420406/

Zkouška hloubení dle Erichsena patří mezi zkoušky technologické. Princip spočívá ve vtlačování zaobleného tažníku do materiálu sevřeného v kruhové tažnici. Sevření materiálu umožňuje posuvy, takže se hloubení děje výhradně na úkor tloušťky.

Zkouška končí destrukcí materiálu. Mírou tvářitelnosti je hodnota prohloubení v okamžiku vzniku první trhliny.

## Zkoušky kalíškové

Kalíškových zkoušek je celá řada. Nejčastěji se však provádí kalíšková zkouška na zkušebním zařízení TPZ. Zkouška spočívá v tom, že z pásu materiálu se vystřihne kruhový nástřih, který se pomocí tažníku a tažnice táhne do tvaru kalíšku. V průběhu tažení se registruje tažná síla  $F_t$ . Po dosažení maxima dosedá druhý přídržovač,

dosedá druhý přidržovač, čímž se zamezí posuvu materiálu pod přidržovačem a nádoba se přetrhne. Přístroj registruje sílu při přetržení  $F_{max}$ . Z registrovaných hodnot  $F_t$ ,  $F_{max}$  lze vypočítat míru hlubokotažnosti  $T$  dle vztahu

$$T = \frac{F_{max} - F_t}{F_{max}} \cdot 100 [\%]$$

Pro plechy je tato zkouška vhodná hlavně proto, že se poměry při zkoušce podobají poměrům při praktickém procesu tažení.

#### APLIKACE ZKOUSEK PRO HODNOCENÍ TVARITELNOSTI PLECHŮ NA PLASTICKE HMOTY

Myšlenka, využít zkušebních metod, které byly vypracovány pro posuzování tváritelnosti plechů i pro zjišťování vhodnosti termoplastů k tváření za studena, vyplývá z podobnosti mezi tvářením hlubokotažných plechů a tažením termoplastických desek. Tato aplikace má své výhody, /např. že se dá využít stávajícího zařízení pro zkoušení plechu/, ale i nevýhody, které přímo vyplývají ze zcela odlišných vlastností, struktury, a tím i chování plechů a termoplastů. Z toho vyplývá, že pro plastické hmoty nebude možné provádět zkoušky stejně jako pro plechy. Některé zkoušky jsou pro termoplasty úplně nevhodné, jiné bude moci použít jen s menšími nebo většími úpravami v metodice zkoušek.



## Aplikace prosté zkoušky tahem na plastické hmoty

Prostá zkouška tahem se běžně používá i pro plastické hmoty, kde však slouží k určení tří základních hodnot tak, jak jsou popsány v kapitole 2.2.1.

K hodnocení tvarovatelnosti plastických hmot se prakticky nehodí ani jeden ze tří ukazatelů tvářitelnosti pro plechy. Hodnota tažnosti má tu nevýhodu, že jednak nezahrnuje vliv velikosti  $\sigma_{Pt}$  a naopak zahrnuje část deformací při kterých se tvoří na zkušební tyči krček, což má zvláště u plastických hmot značný význam. Další dva ukazatele t. zn. poměr  $\sigma_{Pt}/\sigma_{kT}$  a hodnota A se v té podobě, jak se jich užívá při hodnocení tvářitelnosti plechů, vůbec nedají použít. Vyplyvá to již z pouhého porovnání tahových diagramů kovových materiálů s tahovými diagramy plastických hmot.

Bližší rozbor těchto zkoušek není uveden, neboť toto téma není předmětem mé diplomové práce. Vycházím však ze závěrů literatury /1/ a volím termoplastický materiál typu ABS /viz kapitola 3.1./, který je také závěry zkoušek literatury /1/ doporučen. Tím rovněž ověřím vhodnost těchto zkušebních metod pro praktické použití.

## 2.3. STAVÁJÍCÍ POZNATKY O METODÁCH PLOŠNÉHO TVÁŘENÍ DESEK Z TERMOPLASTŮ ZA STUDENA

Metody plošného tváření, které se uplatňují při zpracování termoplastů, jsou především tyto:

- a/ lisování /slícovanými kovovými nástroji/
- b/ hluboké tažení
- c/ tváření pomocí kapaliny - hydroform
- d/ tváření pryží
- e/ tažení pomocí pružné membrány
- f/ ražení
- g/ válcování

Všechny tyto procesy probíhají obvykle při pokojové teplotě. Ukázalo se však, že při tváření pružnou membránou nebo pryží je výhodné ohřát polotovar asi  $10^{\circ}\text{C}$  pod bod tání polymeru. Při tažení se však někdy ohřívá spodní část nástroje, a to až na  $120^{\circ}\text{C}$ .

Mezi metody, které se komerčně zatím nejvíce uplatnily, patří lisování a hluboké tažení. Jistý pokrok byl učiněn i ve tváření pružnou membránou. Válcování za studena se pak využívá především při přípravě polotovaru, kdy pod vlivem vysokého tlaku dochází k orientaci molekul, a tím k zlepšení mechanických hodnot /3/. To umožňuje dosažení vysokého mezního součinitele tažení, který je definován jako poměr max. průměru přístřižku k průměru tažníku.

Při plošném tváření dochází, stejně jako při objemovém tváření, ke zvýšení pevnosti a tuhosti. Tloušťka materiálu neovlivňuje podstatně dobu tvářecího cyklu /na rozdíl od vstřikování/.

Z hlediska ohřevu se rozlišuje tváření za studena /při pokojové teplotě/ a tváření v pevném stavu

/t.j.  $10 \pm 20^{\circ} \text{C}$  pod bodem tání polymeru/. Tváření v pevném stavu má proti tváření za studena výhodu v tom, že je zapotřebí menší tvářecí síly, a tím dochází k menšímu odpružení, výsledný produkt má lepší tepelnou stabilitu, neboť deformace proběhla za vyšší teploty. Nevýhodou je ovšem nutnost ohřátí polotovaru, a tím i delší cyklus tváření, což v našem případě nepřichází v úvahu neboť tato diplomová práce řeší problém tváření za studena /2/ /3/.

Při vakuovém tvarování, kdy termoplast je rovněž ohříván, však nedochází ke zvýšení pevnosti či tuhosti, protože tento proces probíhá při vyšší teplotě. Znamená to, že pro stejný výrobek je nutno při vakuovém tvarování užít pro zachování provozních vlastností konečného produktu /stabilita/ folie a větší tloušťce než při tažení. Např. při výrobě talíře z ABS bylo možno původní tloušťku 0,56 mm /vakuové tvarování/ snížit na hodnotu 0,3 mm /tažení/. To mělo za následek i značné úspory na materiálu. V tomto případě došlo i ke zvýšení produktivity /3/.

Při tváření termoplastů pryží je blok pryže umístěn v ocelovém kontejneru. Na horní upínací desku, která je slicována s kontejnerem, je upevněn nástroj odpovídající tvaru výlisku. Folie z plastické hmoty se klade na povrch pryže. Vlastní nástroj je upnut na hydraulický lis. Při uzavření lisu působí pryž všestranným hydraulickým tlakem, což má za následek dobrou reprodukci všech detailů nástroje.

Termoplast se obvykle předeřívá na teplotě asi  $10^{\circ} \text{C}$  pod bod tání. Tlak potřebný pro dobré vytvarování je 7 až 11  $\text{MN} \cdot \text{m}^{-2}$ . Nutná doba výdrže na tomto tlaku je obvykle  $10 \pm 15$  s. Doba celého cyklu  $20 \pm 40$  s.

Tloušťka folie má být větší než 2,5 mm. Pod touto hranicí dochází při manipulaci s ohřátou folií k vytváření vlnek a folie rychle chladne. Horní hranice zatím nebyla plně vyzkoušena, dosud byly taženy folie o tloušťce do 25 mm. Požadovaná kapacita lisu je 11,5 MN /asi 115 Mp/ na 1 m<sup>2</sup> plochy stolu. Touto metodou byly tvářeny: polypropylen, tvrdý polyetylén, ABS, PVC, PS, polykarbonáty, polyakryláty, butyráty a polyterftaláty.

Tato technologie se uplatní zejména pro prototypové práce, mělké tahy do 50 mm a pro větší tloušťky folií /nad 5 mm/. Jistou nevýhodou je poměrně vysoká cena bloku pryže. Ušetří se ale za druhou polovinu nástroje. /3/ /2/.

Tváření termoplastů pružnou membránou je technologie podobná tváření pryží. Blok pryže je tu však nahrazen pryžovou membránou /tloušťky asi 3 mm/, kterou je uzavřeno buď stálé množství kapaliny /tzv. hydrostatický způsob/, nebo může být tlak kapaliny, popřípadě i vzduchu, na pryžovou membránu regulován /obr. 7 /.

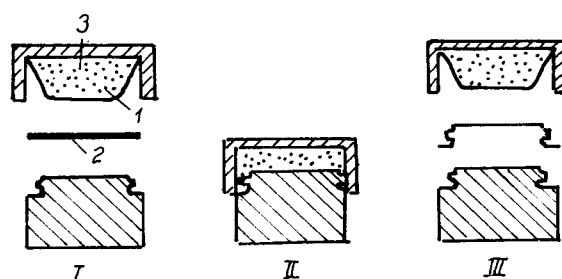
Technologické podmínky jsou v zásadě stejné jako při tváření pryží /teplota ohřevu, výdrž na pracovním tlaku/ s výjimkou udávaného tlaku. Pro tváření polypropylénu /PP 5120 fy Shell/ byl zapotřebí tlak pouze v rozmezí 0,7 až 3,5 MN.m<sup>-2</sup> /7 až 35 kp/cm<sup>2</sup>/. Při výrobě krytu ventilátoru pro automobil z folie o tloušťce 3,8 mm bylo použito tlaku vzduchu 0,7 MN.m<sup>-2</sup> /7 kp/cm<sup>2</sup>/. Nástroj, pokud je dělený, může mít i různá vybrání /např. pro držadlo u kufru/.

Ohřátý polotovar je přidržován za okraj v nástroji. Tento tlak může být regulován a tak dochází buď pouze k tažení /tloušťka materiálu zůstává konstantní/, nebo k vypínání /stěna se ztenčuje/. Ztenčená stěna /roh kufru/ však má v důsledku orientace větší pevnost než okolní materiál.

Je zapotřebí věnovat velkou péči rovnoměrnému prohřátí polotovaru - max. odchylka je 0,5 až 1° C. Pro ohřev do tloušťky 5 mm se doporučuje užit pulzního infraohřevu /doba ohřevu 1 až 2 minuty/. Nad tuto tloušťku se osvědčil ohřev mezi vytápěnými hliníkovými deskami, které byly pokryty teflonovou vrstvou. Zde jsou doby ohřevu delší. Pro tloušťku 4 mm je to 5 minut, ale pro tloušťku 13 mm je doba ohřevu již půl hodiny.

Tato technologie bude vhodná spíše pro malé série rozměrných výrobků s větší tloušťkou stěny /3/. Této metody se zatím využívá v zahraničí /3/. Technologie probíhá za zvýšené teploty a tudíž se o ní blíže nerozepisují.

Obr. 7 Tváření pryžovou membránou



## 2.4. SHRNUÍ POZNAIKŮ Z HLEDISKA ROZMEROVÉ STÁLOSTI A PŘESNOSTI

Další vlastností, kterou se chování plastů odlišuje od chování plechů, je veliké odpružení po odlehčení /viz kap. 2.1.1./ . Tato vlastnost je velmi škodlivá, protože se nám po vytažení výtažku v závislosti na čase výrazně změní nejen výška výtažku, ale i jeho celkový tvar. Proto bylo třeba vypracovat metodiku, která by toto odpružení v závislosti na čase dovolovala sledovat. Dalším kritériem pro použitelnost a kvalitu výtažku je rozložení tloušťky stěny. Při procesu tváření mají některé materiály v místech maximálního namáhání tendenci k tvorbě "krčku". To se týká především materiálu PVC a proto např. tento materiál není vhodný pro technologii tváření za studena /2/ /4/. Metodika sledování rozměrové stálosti a změny tloušťky stěny je vypracována v kapitole 2.4.1. a 2.4.2.

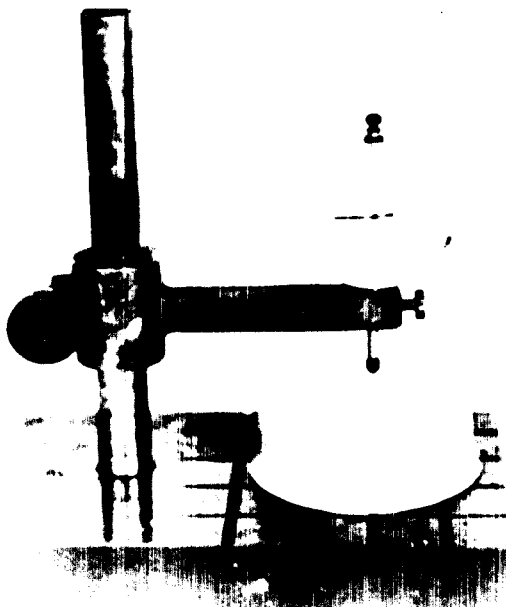
### 2.4.1. ROZMĚROVÁ STÁLOST

Jelikož dosažení přesných rozměrů výtažku a udržení si těchto rozměrů má základní vliv na kvalitu a použitelnosti výtažků zhotovených metodou tvarování za studena, bylo nutné tuto rozměrovou stálost sledovat a vyjádřit do jaké míry jsou výtažky schopné udržet si svůj rozměr. Princip měření spočívá ve sledování hodnoty prohloubení v závislosti na čase v intervalu 30 s až 20 dní.

Rozměrové změny byly sledovány pomocí jednoduchého měřícího přípravku /viz obr.8 /, který se skládal ze stojánku a setinového indikátoru. Výtažky byly zhotoveny

tažným nástrojem na trhacím stroji ZDM 50. Hodnota počátečního prohloubení byla sledována opět na trahacím stroji, který umožňuje přesné určení vzdálenosti tažníku vůči tažnici.

Od okamžiku vyjmutí až po změření hodnoty  $H$  uběhlo maximálně 30 s a tudíž hodnota okamžitého odpružení je dosti přesná /viz kapitola 3.8.3./.



Obr. 8 Přípravek pro měření hodnot odpružení.

#### 2.4.2. ROZLOŽENÍ TLOUŠTKY STĚNY

Sledování rozložení tloušťky stěny provádíme na výtažcích zhotovených na navrženém nástroji. Výtažky byly tažené na určitou hodnotu prohloubení a charakter zeslabení stěny byl sledován na příčném řezu výtažku s pomocí mikrometru s kulovým dotykem /viz kapitola 3.8.4./.

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST



Experimentální část se bude zabývat návrhem tažného nástroje a ověřením jeho funkce při praktickém tváření. Jelikož na téma "tváření plastů za studena" nebyla u nás kromě literatury /2/ a /3/ nic publikováno vycházím při konstrukci nástroje a podmínek pro tváření pouze z této literatury a ze zkušeností, ke kterým jsem při výrobě a ověřování nástroje dospěl. Tvar výlisků jsem volil vzhledem pro jednoduchost výroby nástroje typu "kalíšek". Tento tvar zcela vyhovuje i požadavku ověření rozměrové stálosti a rozložení tloušťky stěny. Vlastní tažení je provedeno na trhacím stroji ZDM 50. Na tomto stroji mohu sledovat přesný posuv tažníku vůči tažnici a tím i přesnou hloubku tahu. Dále mohu měnit plynule rychlost tažení. Je možné také sledovat maximální sílu při tažení.

Jako nejvhodnější materiál pro tváření volím pro jeho vlastnosti termoplast typu ABS. /viz kapitola 2.1.2./. Tento materiál je rovněž doporučen literaturou /2/. Pro srovnání volím materiál polypropylen, který je dle literatury /2/, rovněž možné touto technologií zpracovávat.

Samotné tažení probíhá při teplotě 18-20<sup>o</sup> C a tudíž pod teplotu měknutí plastu, což odpovídá i mému úkolu, neboť termín "tváření plastů za studena" znamená, že při procesu tváření ani před ním není dodáváno vnější teplo.

### 3.1. NÁVRH MATERIÁLU VHODNEHO PRO TECHNOLOGII TVÁŘENÍ PLASTŮ ZA STUDENA

Základním předpokladem při tažení termoplastu je dostatečná tažnost při normální pokojové teplotě, /asi 20° C/, ale převážná část přetvoření nesmí být vratná. Tedy polymery jako polykarbonáty, polysulfony, polypropyleny a hlavně modifikované polymery typu ABS jsou tvářitelné za studena, zatím co křehčí polymery jako polystyreny nebo termosety tvářitelné za studena nejsou /2/. Zpracování polyetyleny je nesnadné. Je sice dobře tvařitelný, ale musíme počítat s velkým odpružením, což znehodnocuje výtažek. /2/ /4/. Jako nejvíce vhodný pro technologii zpracování plastů za studena se proto jeví polymeru typu ABS. Předností těchto kopolymerů je, že v sobě spojují velmi dobré fyzikálně-mechanické vlastnosti. Zjednodušeně lze uvést, že styrenová složka usnadňuje zpracovatelnost, akrylonitrilový podíl zlepšuje tvarovou stálost a butadienová komponenta zajišťuje dobrou tažnost a houževnatost finálního ternárního kopolymeru /4/. Viz kapitola 2.1.

Materiálů typu ABS je celá řada a každý má odlišné mechanické vlastnosti. Ovšem určitý typ kopolymeru ABS, určený přímo pro zpracování tvářením za studena uveden není /6/.

Pro účel této práce jsem vybral materiál typu ABS, který byl k dispozici na katedře obrábění a tvářením plastů. Jelikož přesný typ tohoto plastu znám nebyl, bylo nutné určit o jaký typ jde. Určení bylo provedeno za pomoci ing. Velikovské v laboratoři n.p. Plastimat.

Bylo zjištěno, že se jedná o kopolymer dodávaný pod obchodním názvem UMASTYR ABS. Tento materiál dodávají východočeské chemické závody Synthesia n.p. Pardubice - Semtín. Dodává se ve formě desek s tolerancí  $\pm 10\%$  pro tloušťku 3,5 mm. Z katalogu byly zjištěny hodnoty:

max. pevnost v tahu	= 29,4 MPa
vrubová houževnatost	= 1,2 J/cm <sup>2</sup>
hustota	= 1,07 g/cm <sup>3</sup> /6/

Jako srovnávací materiál volím polypropylen dodávaný ve formě vytlačovaných desek pod obchodním názvem MOSTEN 55.222. Jedná se o vysokomolekulární kopolymer určený pro použití při vyšších teplotách. Vyznačuje se dobrou rázovou houževnatostí a výbornou stabilitou při zpracování. V prospektech výrobce tohoto polypropylenu jsou uvedeny tyto mechanické vlastnosti.

Maximální pevnost v tahu	= 34,5 MPa
Modul pružnosti	= 1 172

Materiál je dodáván v deskách, tloušťka desky je 3,5 mm. /6/.

### 3.2. NÁVRH PŘÍSTŘIHU A TVARU VÝTAŽKU

Na ručních nůžkách byly desky z kopolymeru ABS a z polypropylenu o tloušťce 3,5 mm nastříhány na mnohoúhelníkové polotovary, které byly soustružením obrobeny na požadovaný kruhový rozměr. Rozměry přístřihu se volí obvykle tak, aby plocha konečné součásti odpovídala ploše výchozího výstřižku. U rotačních součástí se pro přibližný výpočet redukce užívá vztah:

$$\% \text{ redukce} = \frac{D_0 - D_1}{D_0} \times 100 \quad (1)$$

kde  $D_0$  =  $\emptyset$  polotovaru

$D_1$  = průměr součásti /2/

Pro první tah se volí max. redukce 45 % /2/, což platí pro materiál ABS. Pro následující tahy 35 %. Nadměrná redukce znamená přílišné ztenčení materiálu v oblasti dna, kdy může dojít až k jeho odtržení. Jelikož v žádné dostupné literatuře není uveden návrh polotovaru pro určitou hloubku tahu, volím několik průměrů přístřihů s tím, že maximální možná hloubka tahu bude určována experimentálně. Průměry polotovaru jsou: 130, 135, 140, 160. Okraje polotovaru musí být hladké, čistě ostřížené, bez trhlin. Povrch polotovaru musí být hladký a bez poškození. Změna tloušťky desky nesmí přesáhnout toleranci  $\pm 5$  % /2/.

Samotný tvar výtažku je volen typu "kalíšek". Tento tvar plně vynovuje jak stanovení rozměrové stability, tak i nenáročnosti výroby pracovní části nástroje.

### 3.3. NÁVRH NÁSTROJE, VOLBA STROJE

Při návrhu nástroje vycházíme z požadovaného tvaru součásti a z vlastností zpracovávaného polymeru. Všechny funkční plochy musí být pečlivě vyleštěny. Při návrhu konstrukce nástroje se musí vzít v úvahu odpružení. U rotačních součástí to je 5 až 7 %. Velikost odpružení závisí na velikosti redukce /7 % pro 45 % redukce, 5 % pro 35 % redukce/, tloušťce materiálu a tvaru nástroje.

Během tažení je nutno zajistit dobrý styk materiálu s povrchem nástroje, aby byla zajištěna stejná tloušťka stěny výrobku, odpovídající tloušťce polotovaru. Nesmí docházet tedy k vypínání. Na obr. jsou znázorněny doporučené hodnoty poloměrů zaoblení a vůle. Pokud se táhne na více tahů, je nutno pamatovat na přizpůsobení těchto hodnot. Zejména je nutné uvážit částečné odpružení /rozevření/ po prvním tahu a velikost poloměru zaoblení tažníku pro druhý a další tah. Pokud je poloměr zaoblení příliš malý, dochází k ztenčení stěny poblíž dna, což při dalším tahu může znamenat protržení.

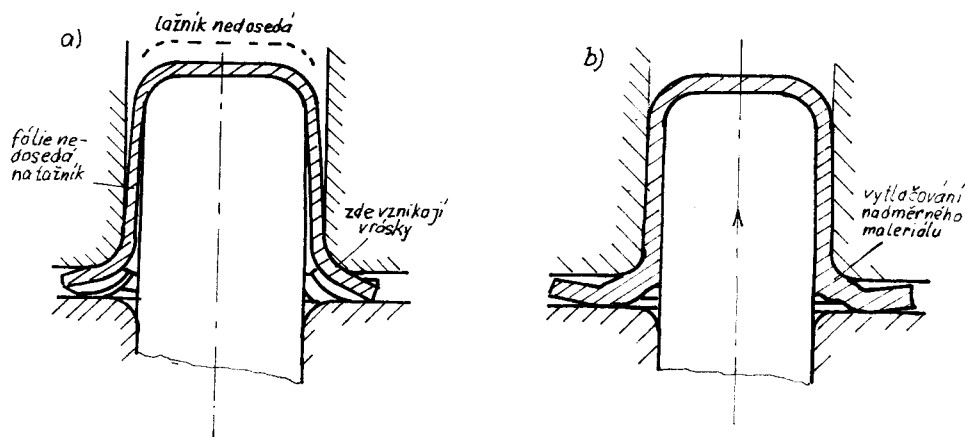
Vůle mezi tažníkem a tažnicí má často rozhodující význam pro dosažení kvalitního výtažku. Je-li vůle příliš velká, materiál nedosedne úplně na tažník a v závěru tažení dochází k vytahování materiálu z příruby, a tím ke vzniku vln v přírubě /viz obr.9a /. Z tohoto důvodu se rovněž nepřipouští vybrání u tažnice. Naopak při malé vůli dochází ke ztenčování stěny /nebezpečí vzniku trhliny ve dně součásti/ a zároveň k hromadění materiálu v přírubě /obr.9b /.

Stejný efek má menší či větší tloušťka materiálu, než se kterou bylo při návrhu nástroje počítáno. Proto je nutné, aby tolerance tloušťky polotovaru byly dodržovány. K podobnému jevu rovněž dochází pokud tažník je vůči tažnici vyosen. Výtažek nemá stejnou tloušťku stěny po obvodě a při dalším tažení vznikají zmetky.

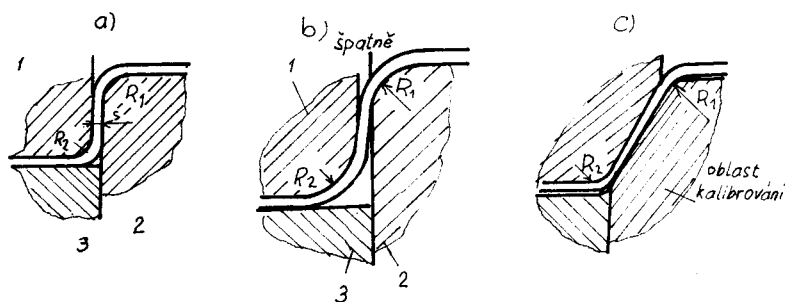
Při tažení výlisků s přírubou se doporučuje, aby příruba byla v závěrečné fázi mezi horní a spodní částí nástroje kalibrována. Tím se zamezí vzniku vln na jejím okraji.

Při konstrukci nástroje je rovněž nezbytně nutné zajistit spojení všech dutin s atmosférou, aby nedocházelo k uzavření vzduchového polštáře nebo ke vzniku vakua, a tak ke zborcení výlisku.

Obr. 9 Nesprávaná a správná vůle mezi tažníkem a tažnicí



Obr. 10 Hodnoty poloměrů a vůle při tažení.  
 a - dobře, b - špatně, c - tažení kužele,  
 1 - tažník, 2 - tažnice, 3 - přidržovač.



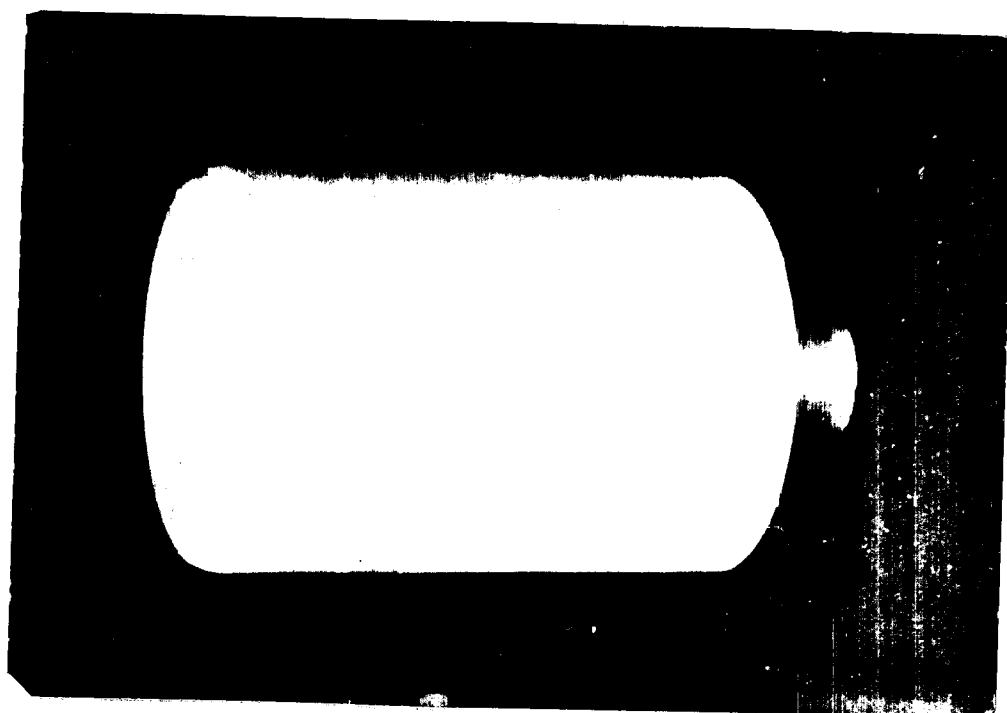
Vlastní nástroj je složen z duralového tažníku, který je upevněn ve stroji pomocí čepu /viz obr. 11 /. Průměr tažníku volím 78 mm, neboť je nutné brát zřetel na velikost pracovního prostoru trhacího stroje ZDM.

Tažnice je složena ze svařence, který tvoří spodní část nástroje a na něm je přišroubována horní část tažnice o  $\varnothing$  160 mm a poloměru zaoblení tažné hrany 9 mm. /Obr. 12 /. /3/. Tento kroužek je výměnný a je možné zhotovit několik těchto kroužků z různým poloměrem tažné hrany. Oba dva díly tažnice jsou z materiálu 11500. Průměr pracovního prostoru tažnice /obr. 13/, je 85 mm. Je vůči tažníku zvětšen o tažnou vůli. Tažná vůle odpovídá tloušťce přístřihu a je 3,5 mm, neboť se jedná o tažení bez ztenčení stěry /3/. Přístřihy jsou z materiálu UMASTYR ABS a polypropylenu MOSTEN /viz kap. 3.1, 3.2./.

Horní přidržovač je vysoustružen z mat. 11500 a je držen v nastavené poloze čtyřmi pružinami. Vůle přidržovače se seřizuje pomocí čtyř šroubů M 8 /viz obr.14 /. Pro přesné vymezení vůle přidržovače je použito čtyř distančních válečků. Přidržovač pro jednoduchost výroby není odpružen. Nástroj rovněž nemá spodní přidržovač, přesto že je literaturou /3/ doporučen. Nástroj je značně zjednodušen, neboť slouží pouze pro ověření této nové technologie a k tomuto účelu plně vyhovuje. Tažný nástroj, který by odpovídal všem požadavkům by byl značně složitý a nebyl by v dílnách VŠST z časových důvodů vyroben. Spodní část nástroje je uchycena ve stroji pomocí úpínek /viz obr.15 /.

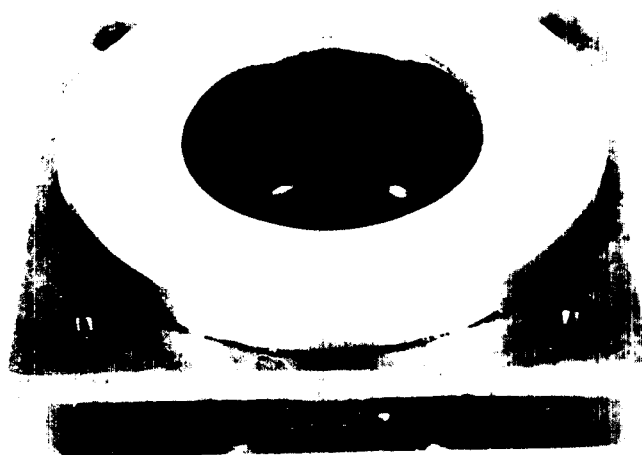
Vlastní konstrukční provedení viz příloha.

Obr. 11 Tažník





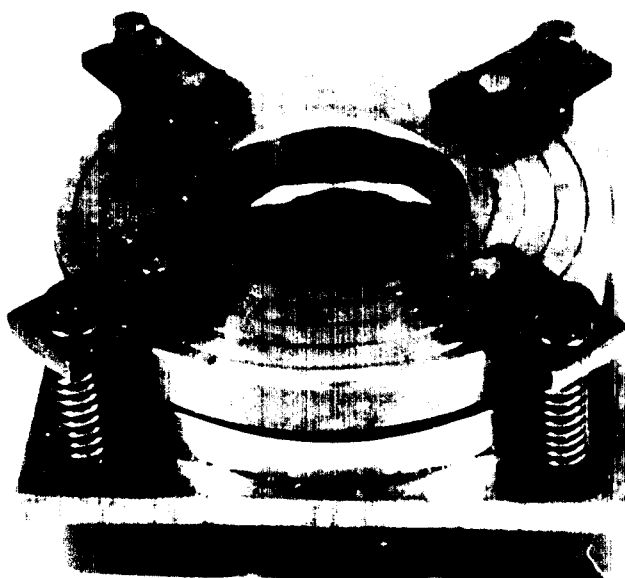
Obr. 12 Tažnice



Obr. 13 Pracovní prostor tažnice



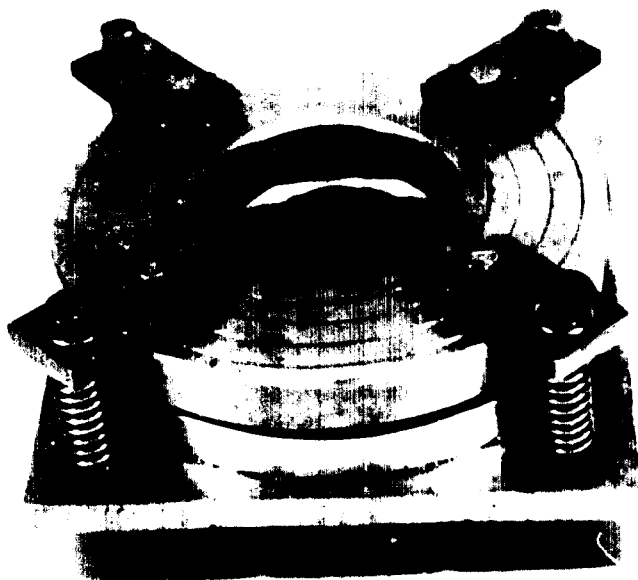
Obr. 14 Tažný nástroj



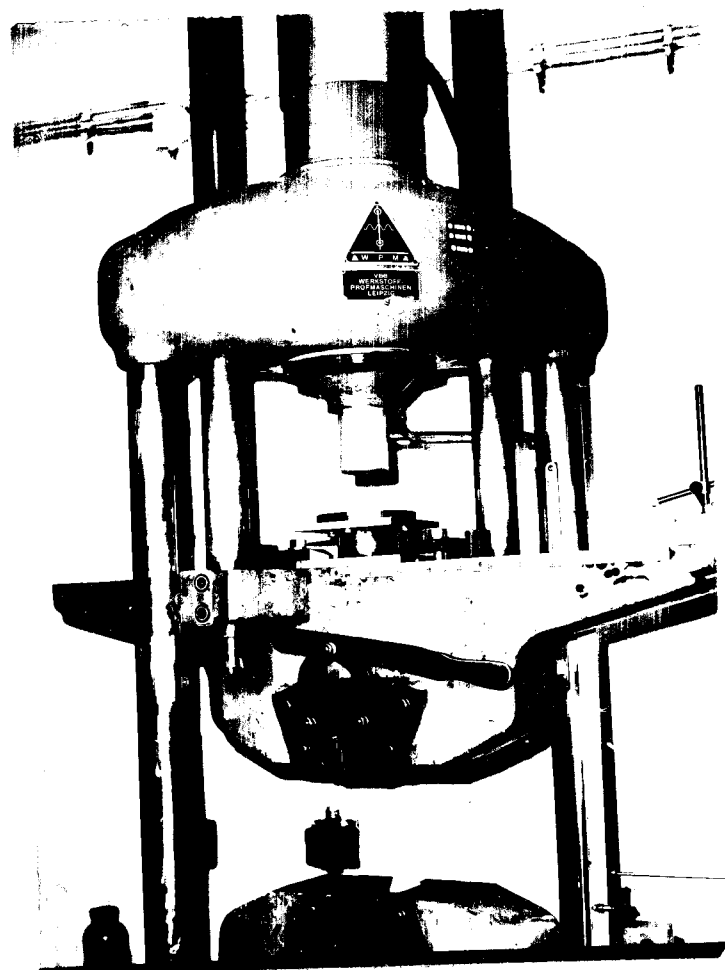
Obr. 15 Upnutí tažného nástroje



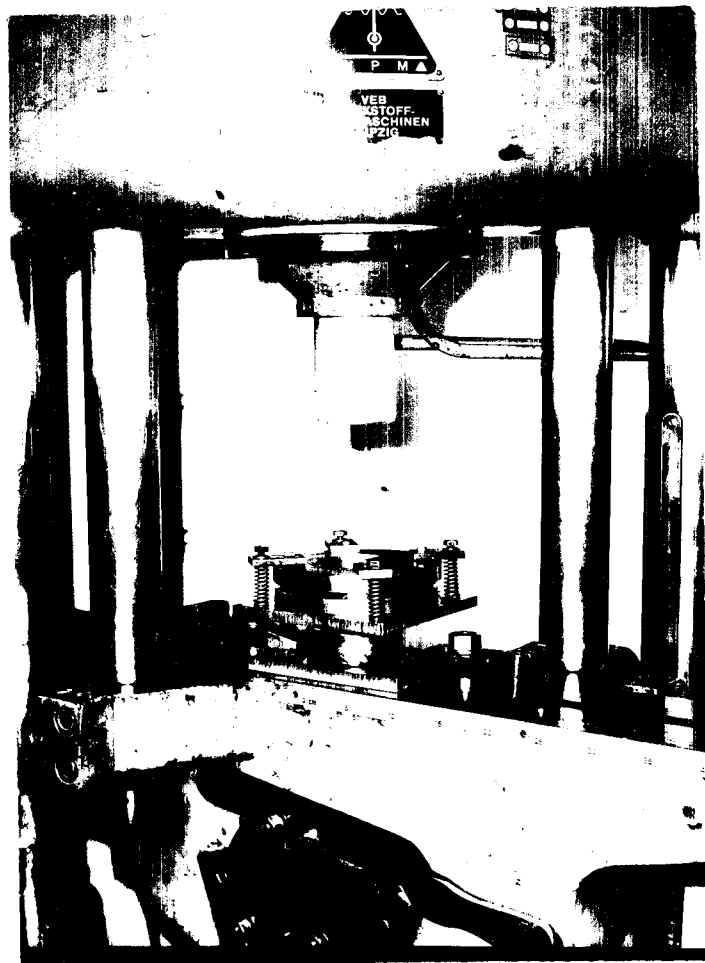
Obr. 14 Tažný nástroj



Obr. 15 Upnutí tažného nástroje



Obr. 15a



## Volba stroje

Pro vlastní operaci tažení volím trhací stroj  
typu ZDM 50 t.

Výrobce VEB. Werkstoffprüfmaschinen Leipzig S 3 a.

Fabr. Nr. - 2313/56/5

Měřicí rozsahy zatížení 100 kN

250 kN

50 kN

Zdvih - 0 ÷ 250 mm

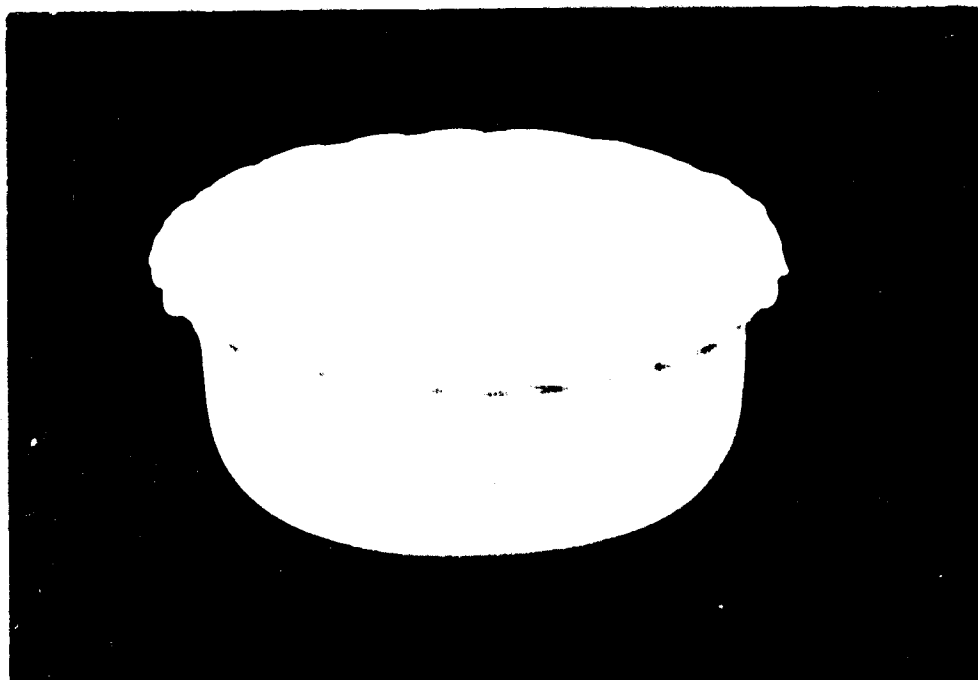
Výhodou tohoto stroje je plynulá změna rychlosti  
tažení a přesné odečítání posuvu tažníku vůči tažnici,  
což umožňuje určit mezní rychlost tažení při maximální  
hloubce tahu. Rovněž je zde možné sledovat maximální  
sílu při procesu tažení.

Měření proběhlo při rozsahu 100 kN.

### 3.4. PRAKTICKÉ TVÁŘENÍ

Po ustavení nástroje na trhacím stroji ZDM 50 bylo přistoupeno k vlastnímu procesu tváření, při kterém budou taženy kalíšky o průměru 85 mm. Po sejmutí přídržovače byl vložen na tažnici polotovar. Dále byl přídržovač zpětně našroubován a byla seřízena vůle přídržovače nad polotovarem. Vůle přídržovače byla stanovena pokusně a její velikost byla seřizována tak dlouho, dokud nebylo zabráněno tvorbě vln /viz kapitola 3.3./. Po nalezení optimální vůle byly vyrobeny distanční válečky o  $\varnothing$  5 mm a výšce odpovídající optimální vůli přídržovače. Tím byla zajištěna přesná vůle mezi přídržovačem a tažnicí a rovněž i rovnoběžnost mezi tažnicí a přídržovačem. Dále vznikl problém potřeby mazání. Literatura /3/ uvádí, že pro úspěšné tažení je mazání obvykle nezbytné. Mazivem mohou být buď vodné roztoky, nebo roztoky mastných esterů a tuků ve vhodném rozpouštědle. Vodné roztoky se užívají většinou přímo při tažení, kdežto maziva nerozpustná ve vodě se užívají jako ochranný povlak pro skladování. Při tažení ABS se užívají maziva Bruko D 491. Optimální teplota maziva je asi 32° C. Jelikož toto mazivo k dispozici není mazání provádím běžným olejem jako při mazání plechů. Optimální vůle mezi přídržovačem a tažnicí byla zjištěna pokusně a je 4 mm. Tuto výšku má distanční kroužek /vyroben až po nalezení optimální vůle mezi tažnicí/. Na obrázku 16 je patrné zvlnění příruby vlivem špatné vůle přídržovače.

Obr.16 Vliv špatné vůle přídržovače



### 3.5. STANOVENÍ MEZNÍ RYCHLOSTI TAZENÍ

Hodnoty rychlosti tažení nejsou uvedeny v žádné dostupné literatuře a proto byly určeny pro určitý stupeň tažení experimentálně. Měření bylo provedeno za pomoci tažného přípravku na trhacím stroji ZDM 50. Tyto rychlosti by byly částečně určující i pro volbu tvářecího stroje.

Postup měření byl následující. Nejdříve byla zvolena libovolná malá rychlost tažení a pokusně se stanovila maximální hloubka tahu  $H$ , při které nedojde k porušení výtažku. Tato hloubka byla odečtena na měřítku trhacího stroje.

V dalším stádiu byla tato hloubka brána jako konstantní a pro dosažení této hloubky tahu se pouze měnila rychlost posuvu tažníku. Hledala se taková maximální rychlost, při které nedojde k porušení výtažku. Jelikož hodnoty rychlosti posuvu tažníku vůči tažnici nejsou na stroji uvedeny, byly zpočteny ze vztahu

$$v = \frac{s}{t} / \frac{\text{mm}}{\text{s}} / \text{kde } s = \text{dráha tažníku a je konstantní}$$

a čas  $t$  je odečítán na stopkách. Z tohoto je potom vypočtena mezní rychlost tažení. /viz kapitola 3.8.1./.



### 3.6. MEZNÍ KOEFICIENT TAŽENÍ

Koeficient tažení  $M$  nám charakterizuje poměrné zmenšení průměru výstřižku. Hodnota koeficientu tažení je v mezích  $1 > M > 0$ .

Většímu stupni deformace odpovídá menší koef. tažení a naopak. Převrácená hodnota koef. tažení je stupeň tažení  $K$ .

Koeficient tažení dostaneme ze vztahu  $M = \frac{d}{D}$

kde  $d$  = průměr výtažku a  $D$  = průměr polotovaru.

Stupeň tažení  $K$  je převrácená hodnota  $M$ ,  $K = \frac{D}{d}$

kde  $D$  = průměr výstřižku a  $d$  = průměr výtažku.

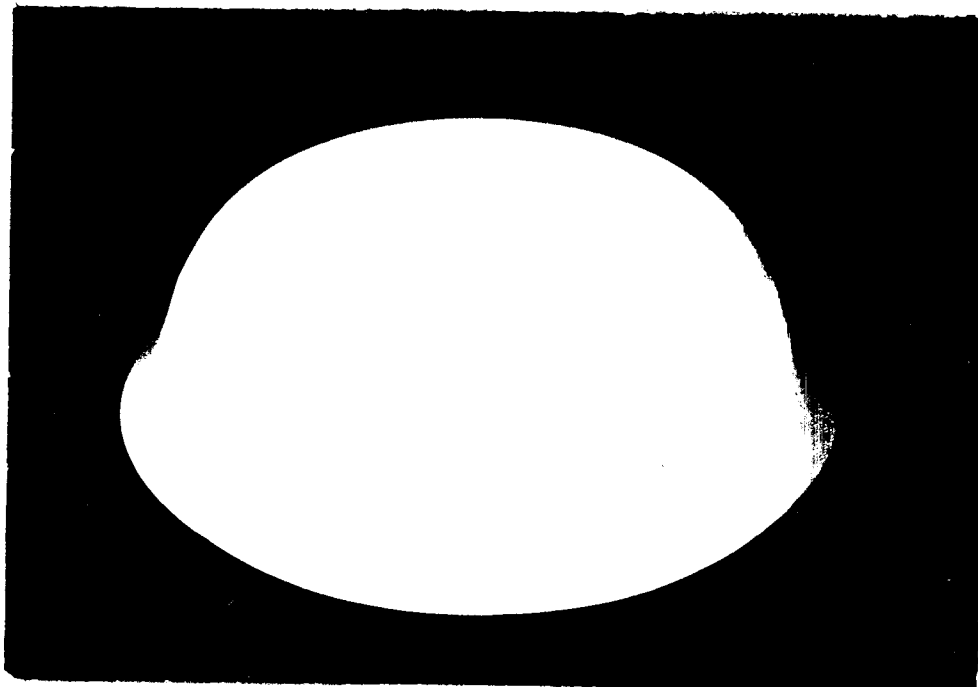
Maximální hodnota stupně tažení  $K$ , při které již dochází k porušení materiálu je mírou hlubokotažnosti materiálu. Hodnotu  $K$  max. nelze stanovit přímo a nelze ji stanovit při jedné zkoušce. Je nutné ji provádět při stejném průměru tažného nástroje na kruhových nástřizích různých průměrů. Vlastní určení je provedeno na tažném nástroji. Průměr výtažku je 85 mm.

Vůle přidržovače je 0,5 mm. Nástřihy jsou odstupňovány od  $\varnothing 160$  do  $\varnothing 130$ . Použitý materiál UMASTYR ABS, viz kapitola 3.1. a polypropylen MOSTEN.

### 3.7. ZMENA HUSTOTY VÝTAZKU PO PROCESU TVARENÍ

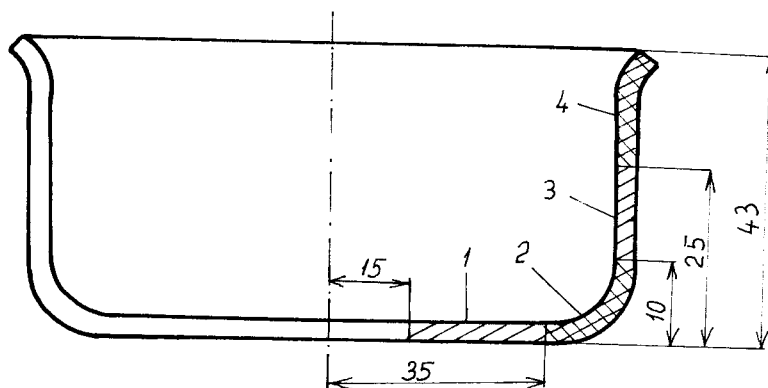
Při procesu tažení dochází v oblasti největšího namáhání tažného materiálu k výraznému zbělení. Tato změna nastává v důsledku zředění materiálu. Abychom mohli posoudit, jak velké je toto zředění, která má nepřímý vliv na mechanické vlastnosti, neboť tyto vlastnosti se zhoršují se stoupajícím zředěním /např. klesá tvrdost/.

Zjišťování zředění provádíme pomocí pyknometrické zkoušky. Tato metoda spočívá v prorovnání hustoty vzorku a hustoty imersní kapaliny v okamžiku, kdy se vzorek v kapalině vznáší. To znamená, že vzorek má stejnou hustotu jako imersní kapalina. Zkouška je prováděna dle ČSN 640111. STSEV 89/78. Viz kapitola 3.8.5./7/



Obr. 17 Zředění materiálu v oblasti maximálního namáhání.

Vzorky jsou odebrány z výtažku dle obr. 18 .



### 3.8. VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI NAMĚŘENÉ HODNOTY

#### 3.8.1. STANOVENÍ MEZNÍ RYCHLOSTI TAŽENÍ

Princip měření je popsán v kapitole 3.5.  
Výtažky byly taženy z prístřihu o průměru 135 mm.  
Byla hledána maximální hloubka tahu H viz tabulka 1,  
a maximální /mezní/ tažná rychlost při které nedojde  
k porušení materiálu /viz tabulka 2/. Měření probíhá  
za teploty v rozmezí 18 - 21° C.

Tabulka I

UMASTYR ABS					
vzorek č.	1	2	3	4	5
Hl. tahu /mm/	20	30	35	43	45
min. tažná rychlost /mm/s	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
poznámka	N	N	N	N	P

Hmax = 43 mm

Tabulka II

UMASTYR ABS					
vzorek č.	1	2	3	4	5
hl. tahu /mm/	43	43	43	43	43
rychlost taž.	0,62	0,68	0,72	0,8	0,84
poznámka	N	N	N	N	P

Jelikož při tváření za studena se především zaměřujeme na kopolymer ABS, druhý materiál PP - MOSTEN je brán jako srovnávací viz kapitola 3.1. Maximální hloubka tahu H je brána jako konstantní a je rovna 43 mm. Hledáme pouze mezní rychlost tažení, viz tabulka III.

Tabulka III

PP MOSTEN					
vzorek č.	1	2	3	4	5
hloubka tahu	43	43	43	43	43
rychl. tažení	0,60	1	2	2,26	2,5
poznámka	N	N	N	N	P

Další výtazky budou taženy touto rychlostí:

UMASTYR ABS -  $V_t = 0,8$  mm/s

PP MOSTEN -  $V_t = 2,26$  mm/s

### 3.8.2. MEZNÍ KOEFICIENT TAŽENÍ

Metodika měření je popsána v kapitole 3.6. Tažení probíhalo při teplotě 19 - 20° C. Určené hodnoty jsou zaznamenány v tabulce IV pro materiál UMASTYR ABS a v tabulce V pro materiál PP MOSTEN. Mezní stupeň tažení platí pro mezní rychlosti tažení viz kapitola 3.8.1.

N - nepraská

P - praská

Tabulka IV.

UMASTYR ABS $v_t = 0,8 \text{ mm/s}$				
Průměr nástřihu D	160	140	135	130
Průměr výtažku d	85	85	85	85
poznámka	P	N	N	N

$$\text{Mezní koeficient tažení } M = \frac{d}{D} = \frac{85}{140} = 0,607$$

$$\text{Stupeň tažení } K = \frac{1}{M} = 1,647$$

Tabulka V.

PP MOSTEN $v_t = 2,26 \text{ mm/s}$				
Průměr nástřihu D	160	140	135	130
Průměr výtažku d	85	85	85	85
Pozn.	P	N	N	N

$$M = 0,607$$

$$K = 1,647$$

V tabulce VII jsou uvedeny hodnoty pro výpočet mezního koeficientu tažení pro materiál PP MOSTEN při rychlosti tažení odpovídající mezní rychlosti tažení pro materiál UMASTYR ABS.

Tabulka VI

PP - MOSTEN $v = 0,8$ mm/s				
Průměr nástřihu D	160	140	135	130
Průměr výtažku d	85	85	85	85
Poznámka	N	N	N	N

$$M = 0,531$$

$$K = 1,882$$

### 3.8.3. ROZMĚROVÁ STÁLOST

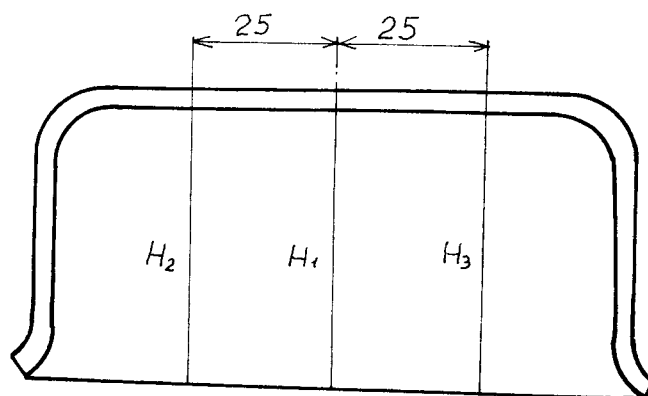
Princip měření je popsán v kapitole 2.4.1. Měření bylo prováděno v rozmezí teplot 20-22° C. Na vzorcích získaných tažením v tažném nástroji byla sledována velikost odpružení závislosti na čase. Hodnoty odpružení  $h$  byly zjištěny ze vztahu

$$h = H_0 - H$$

kde  $H$  = okamžitá výška výtažku

$H_0$  = původní výška výtažku

Měření je prováděno v místech viz skica



Hodnoty vypočtené jsou získány ze vztahů

$$\bar{H}_x = \frac{{}^xH_2 + {}^xH_3}{2}$$

$$\Delta H_x = \frac{{}^xH_1 - \bar{H}_x}{1}$$

$$\Delta H = \frac{\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3}{3}$$

Naměřené a vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tab. VII, VIII. Závislost výšky výtažku na čase viz graf č. 1

Tabulka 7

Materiál ABS

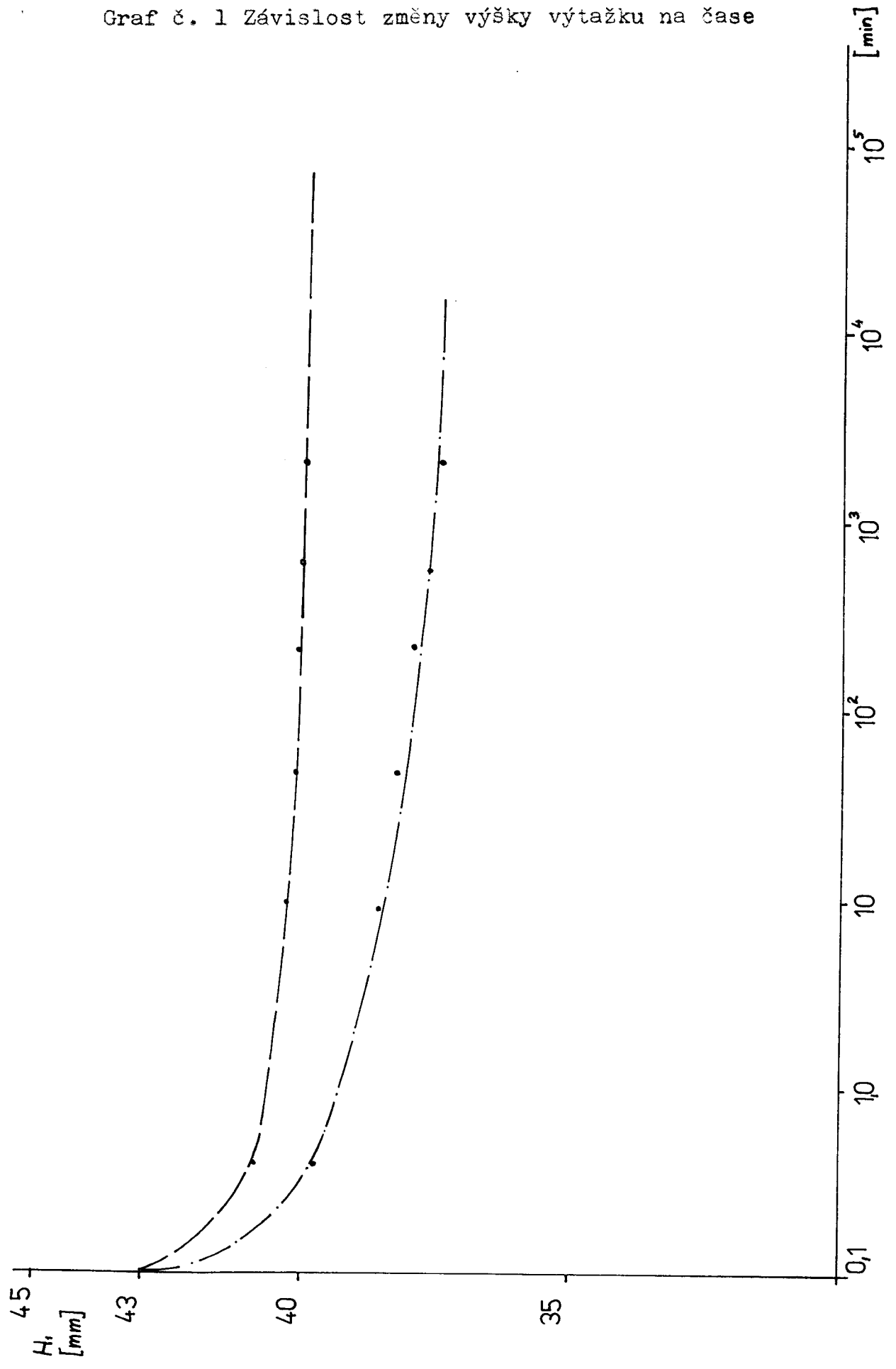
hloubka tahu 43 mm

vzorek číslo	1				2				3				H, h					
	$^1H_1$	$^1H_2$	$^1H_3$	$\Delta H_1$	$\bar{H}_1$	$^2H_1$	$^2H_2$	$^2H_3$	$\Delta H_2$	$\bar{H}_2$	$^3H_1$	$^3H_2$		$^3H_3$	$\Delta H_3$	$\bar{H}_3$	$\Delta H$	
čas																		
30 s	40,80	40,58	40,58	0,220	40,58	40,78	40,55	40,55	0,230	40,55	40,76	40,54	40,54	0,220	40,54	0,223	40,78	2,22
10 min	40,39	40,12	40,12	0,270	40,12	40,37	40,09	40,09	0,280	40,09	40,35	40,08	40,07	0,275	40,07	0,275	40,37	2,63
1 hodina	40,24	39,95	39,94	0,295	39,94	40,23	39,91	39,91	0,315	39,91	40,21	39,90	39,90	0,310	39,90	0,307	40,23	2,77
4 hodiny	40,16	39,83	39,83	0,330	39,83	40,13	39,80	39,80	0,330	39,80	40,09	39,78	39,80	0,300	39,79	0,320	40,12	2,87
12 hodin	40,07	39,70	39,71	0,365	39,71	40,04	39,70	39,71	0,335	39,70	39,96	39,69	39,69	0,280	39,69	0,326	40,02	2,96
24 hodin	39,96	39,56	39,58	0,390	39,57	39,33	39,55	39,56	0,375	39,55	39,89	39,54	39,54	0,350	39,54	0,370	39,92	3,07
4 dny	39,80	39,36	39,38	0,430	39,37	39,80	39,34	39,34	0,460	39,34	39,78	39,34	39,33	0,440	39,34	0,445	39,79	3,20
10 dní	39,76	39,32	39,33	0,440	39,32	39,75	39,32	39,31	0,435	39,31	39,74	39,31	39,29	0,441	39,30	0,438	39,75	3,25
20 dní	39,75	39,32	39,33	0,425	39,32	39,75	39,31	39,31	0,440	39,31	39,74	39,30	39,28	0,450	39,29	0,438	39,74	3,25



Vzorček číslo	1						2						3							
	$^1H_1$	$^1H_2$	$^1H_3$	$\Delta H_1$	$\bar{H}_1$		$^2H_1$	$^2H_2$	$^2H_3$	$\Delta H_2$	$\bar{H}_2$		$^3H_1$	$^3H_2$	$^3H_3$	$\Delta H_3$	$\bar{H}_3$	$\Delta H$	$H_1$	$h$
30 s	39,79	39,51	39,51	0,280	39,51		39,81	39,51	39,53	0,300	39,52		39,87	39,58	39,57	0,290	39,57	0,290	39,82	3,17
10 min.	38,50	38,10	38,11	0,390	38,11		38,62	38,24	38,24	0,380	38,24		38,63	38,26	38,27	0,371	38,26	0,380	38,58	4,42
1 hodina	38,28	37,87	37,87	0,410	37,87		38,39	37,98	37,98	0,409	37,98		38,40	37,99	38,00	0,410	38,00	0,409	38,36	4,64
4 hodiny	37,88	37,45	37,46	0,422	37,45		37,90	37,48	37,50	0,419	37,49		37,92	37,50	37,48	0,421	37,50	0,420	37,90	5,1
12 hodin	37,60	37,16	37,16	0,441	37,16		37,64	37,20	37,20	0,432	37,2		37,66	37,22	37,22	0,433	37,22	0,435	37,63	5,3
24 hodin	37,48	36,85	36,84	0,630	36,85		37,51	36,83	36,83	0,680	36,83		37,50	36,84	36,84	0,660	36,84	0,650	37,49	5,5
4 dny	37,09	36,57	36,59	0,520	36,58		37,19	36,69	36,68	0,501	36,68		37,20	36,91	36,69	0,509	36,70	0,510	37,16	5,84
10 dní	36,88	36,36	36,35	0,521	36,36		36,93	36,43	36,45	0,510	36,44		36,95	36,43	36,43	0,512	36,43	0,514	36,92	6,08
20 dní	36,73	36,17	36,17	0,528	36,17		36,82	36,30	36,32	0,515	36,31		36,88	36,36	36,37	0,519	36,36	0,518	36,82	6,18

Graf č. 1 Závislost změny výšky výtažku na čase



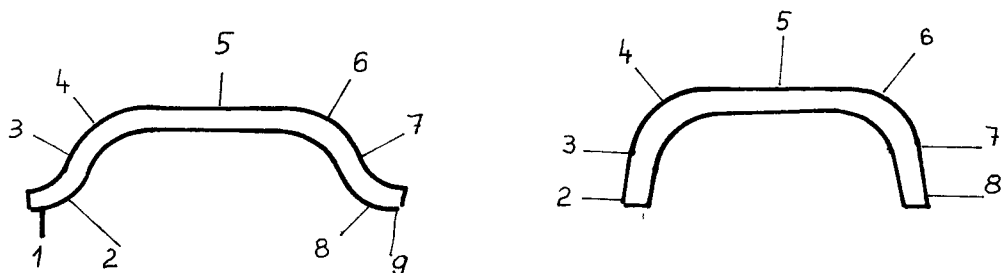
### 3.8.4. ROZLOŽENÍ TLOUŠŤKY STĚNY

Metodika tohoto měření je popsána v kapitole 2.4.2. Teplota při provádění zkoušky se pohybovala v rozmezí 20 až 22<sup>o</sup> C. Měření bylo prováděno na výtlačcích zhotovených tažným nástrojem.



Obr.19 Vzorky zhotovené tvářením, /vpravo materiál ABS, vlevo PP/ vzorky jsou připraveny pro měření.

Proměřování bylo provedeno v místech, která jsou naznačena na skice



Naměřené hodnoty jsou uspořádány v tabulce X, IX .

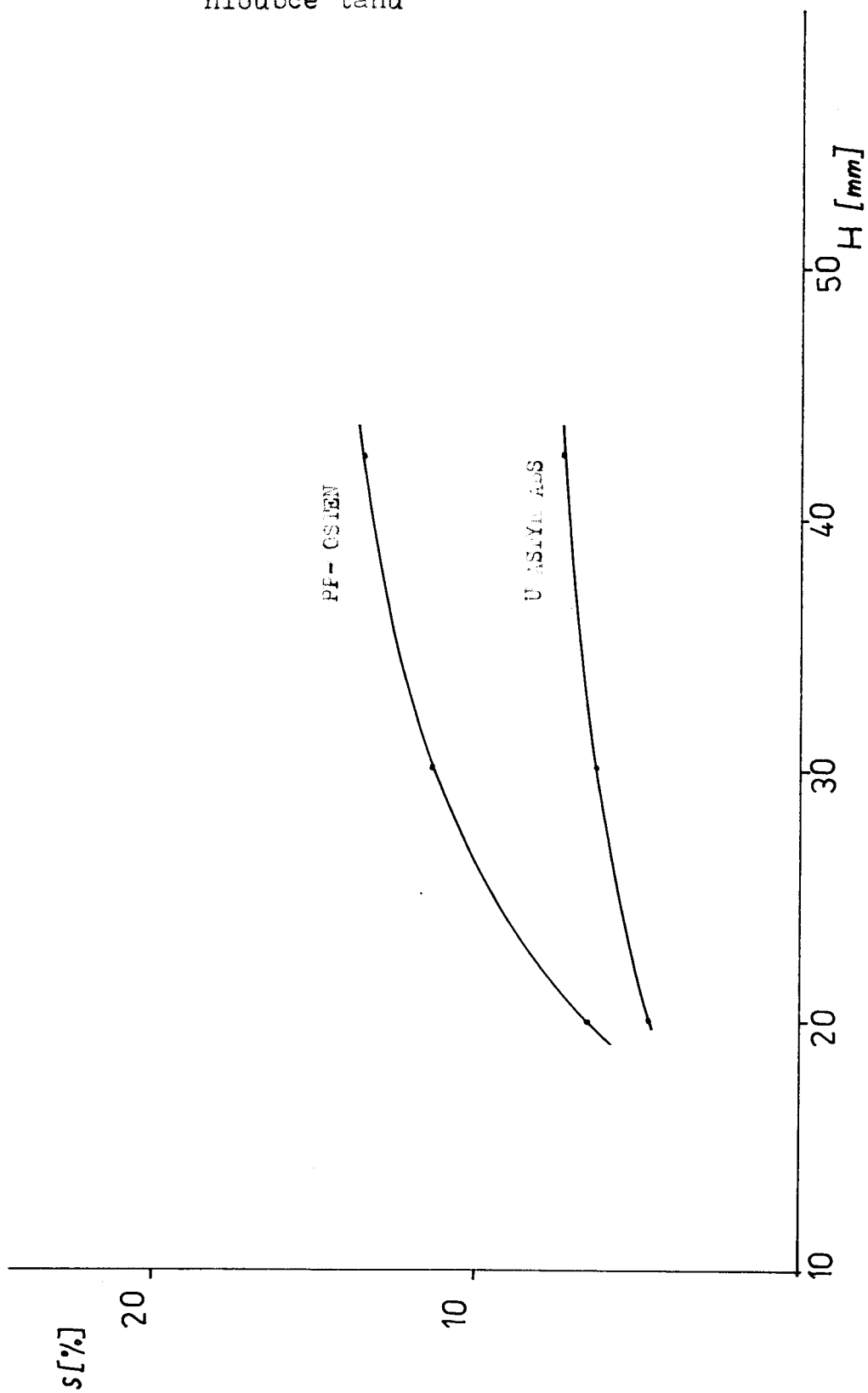
Tabulka IX

U 451YH A05		Naměřené hodnoty											
č. vzorku	Poz. H <sub>0</sub>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	min. tloušťka [mm]	max. ztenčení [mm]	max. ztenčení [%] S
		1	20	3,54	3,490	3,492	3,400	3,500	3,402	3,491			
2	30	3,54	3,483	3,461	3,320	3,491	3,302	3,467	3,484	3,540	3,202	0,220	6,2
3	43	3,54	3,336	3,401	3,220	3,482	3,188	3,400	3,337	3,560	3,188	0,280	7,3

Tabulka X

FF- MCSIEH		Naměřené hodnoty											
č. vzorku	Poz. H <sub>0</sub>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	min. tloušťka [mm]	max. ztenčení [mm]	max. ztenčení [%]
		1	20	3,51	3,410	3,435	3,290	3,498	3,293	3,438			
2	30	3,53	3,400	3,425	3,130	3,498	3,131	3,425	3,403	3,54	3,130	0,400	11,6
3	43	3,51	3,332	3,400	3,044	3,480	3,052	3,412	3,340	3,51	3,084	0,460	13,2

Graf č. 2 Závislost změny tloušťky stěny na  
hloubce tahu



### 3.8.5. STANOVENÍ ROZLOŽENÍ HUSTOTY VÝTAŽKU PO PROCESU TAŽENÍ

Princip metody je popsán v kapitole 3.7. Jako imerzní kapalina je zde použit roztok etylalkoholu o hustotě  $0,910 \text{ g/cm}^3$  pro materiál UMASTYR ABS. Pro polypropylen MOSTEN je imerzní kapalina glycerin. Měření proběhlo při teplotě  $25,2^\circ \text{ C}$ . Výsledky měření jsou zpracovány v tabulce XI, XII.

Tabulka XI

$$\rho_{\text{PP}} = 0,906 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{\text{ABS}} = 1,07 \text{ g/cm}^3$$

UMASTYR ABS		H=43 mm			
vzorek č.	1	2	3	4	
Hustota [ $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ ]	1,066	1,017	1,047	1,040	
Zředění %	0,37	4,9	2,1	2,8	

Tabulka XII.

PP MOSTEN				
vzorek č.	1	2	3	4
Hustota [ $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ ]	0,9055	0,8898	0,8969	0,9038
Zředění %	0,06	1,78	1,0	0,24

### 3.9. ZHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍCH VÝSLEDKŮ

#### 3.9.1. MEZNÍ RYCHLOST TAŽENÍ

Tato metoda zatím nebyla popsána v žádné literatuře, a tak rychlost tažení s maximální hloubkou tahu byly určeny experimentálně viz kapitola 3.8.1. Mezní rychlost tažení u materiálu UMASTYR ABS byla 0,80 mm/s, při maximální hloubce tahu 43 mm. Tato rychlost je ve srovnání s rychlostí tažení PP značně menší, neboť při stejné hloubce tahu a při stejném koeficientu tažení bylo možno dobrý výtažek táhnout rychlostí 2,26 mm/s.

Vyšší rychlosti tažení na navrženém nástroji nebylo možné dosáhnout, neboť docházelo k praskání výtažku. Je však třeba připomenout, že při procesu tažení docházelo vlivem špatného vedení stroje k vyosení tažníku vůči tažnici a tím k znehodnocování výtažku. Dle srovnání rychlostí PP a ABS se nám jeví materiál PP jako vhodnější k tváření za studena. Tato výhoda je však vyrušena jinými špatnými vlastnostmi jako např. velké odpružení výtažku po procesu tažení /viz kapitola 3.9.3/.

### 3.9.2. MEZNI KOEFICIENT TAŽENÍ

Postup určení mezního koeficientu tažení viz kapitola 3.6. Výsledky viz tabulka 4,5,6, kapitola 3.8.2.

Hodnota mezního koeficientu tažení je stejná jak pro materiál UMASTYR ABS, tak pro materiál PP-MOSTEN.

Má hodnotu  $M = 0,607$ . To ovšem platí pro mezní rychlosti, které jsou různé. Pro materiál PP-MOSTEN je mezní rychlost tažení 2,26 mm/s a pro materiál UMASTYR ABS je mezní rychlost tažení 0,8 mm/s.

Tato metoda však nedává žádné přímé výsledky a pouze mi pomohla proniknout do problematiky tváření plastů za studena. Tato metoda také stanoví podmínky pro určení rozměrové stálosti kapitola 2.4.1. a rozložení tloušťky stěny kapitola 2.4.2.

Jelikož mým úkolem bylo praktické ověřování technologie tváření plastů za studena, a ne výzkum mezních stavů, navrhuji pouze metodu, pomocí které by se tyto mezní stavy mohly v příštích pracích vyšetřit.

#### Návrh měření

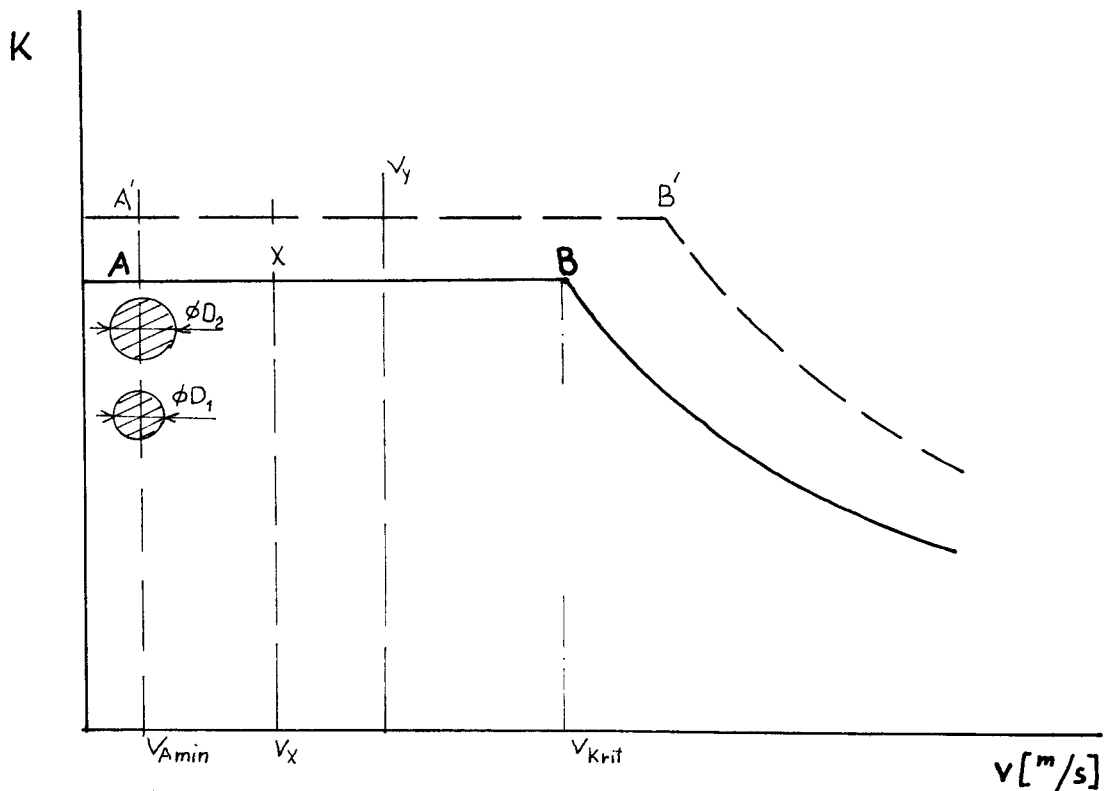
Metoda by umožnila sledovat závislost stupně tažení na tloušťce stěny a stupně tažení na změně výšky výtažku. Měření by probíhalo v tomto sledu.

1. Tažení výtažků z různých průměrů nástřihu až po takový průměr nástřihu, kdy by došlo při max. hloubce tahu k porušení materiálu. Určíme mezní stupeň tažení. Jedná se o tažení bez příruby. Rychlost tažení by byla volena nejdříve co možná nejmenší a výsledkem by byl bod A /viz graf - 3 /.
2. Zvýšíme rychlost tažení a měření opakujeme. Dostáváme bod X.



3. Rychlost stále zvyšujeme, až se dostaneme do bodu kdy nám došlo k poruše výtažku. Rychlost při které došlo k poruše označíme jako kritickou /mezí/. Od této hodnoty nám stupeň tažení bude klesat se stoupající rychlostí. Z těchto hodnot sestrojím graf 3. Dále zvolím libovolnou rychlost  $v_y$  a zkoumám například závislost stupně tažení na rozložení tloušťky stěny /průměr nástřihu je konstantní a měním pouze hloubku tahu/. Z tohoto měření je také možná volba stroje vhodného k tváření. Volím si například stupeň tažení a dostanu mezní rychlost tažení nebo naopak.

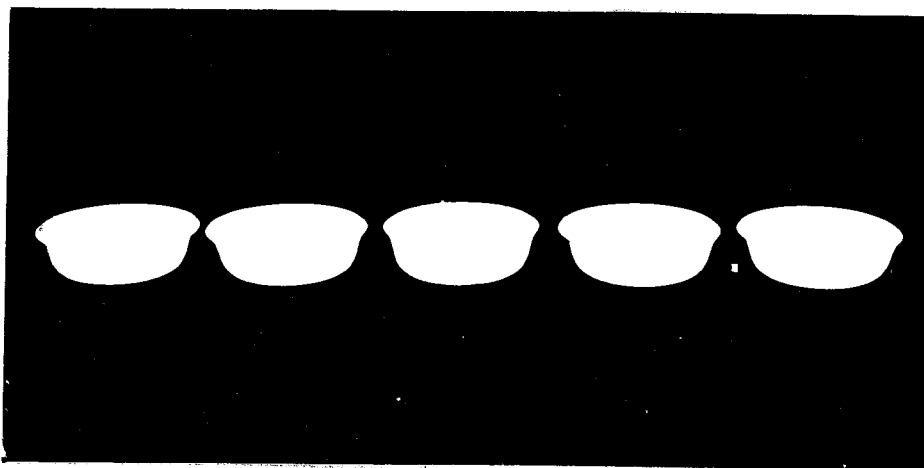
Graf 3



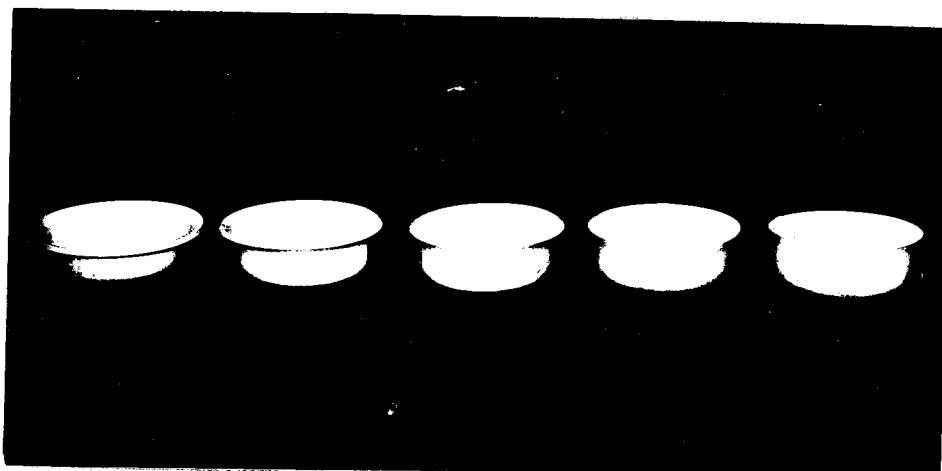
### 3.9.3. VYHODNOCENÍ ROZMĚROVÉ STÁLOSTI

Rozměrové stálost byla sledována na výtlačích zhotovených na taženém nástroji. Ve všech případech výtázky z materiálu PP-MOSTEN vykazovaly po odlehčení tvarovací síly větší hodnoty odpružení, což vyjadřuje i strmější křivka v grafu závislosti změny výšky v čase, oproti materiálu UMASTYR ABS /viz graf 1 /. Materiál ABS je tedy z hlediska rozměrové stability vhodnější pro technologii "tváření za studena". U materiálu ABS se rovněž projevuje menší zaoblení dna a menší kuželovitost válcové části výtáčku /viz obr. 20 /.

Obr 20 Výtázky zhotovené z materiálu PP-MOSTEN



Výtázky zhotovené z materiálu UMASTYR ABS



#### 3.9.4. ROZLOŽENÍ TLOUŠTKY STĚNY

Rozložení tloušťky stěny výtažku je vyjádřeno průběhem maximálního ztenčení [%] v závislosti na hloubce tahu /viz graf 2 /. Strmější průběh křivky a tudíž i horší vlastnosti z hlediska rozložení tloušťky stěny vykazují výtažky zhotovené z materiálu PP-MOSTEN. Tento materiál je tedy méně vhodný pro zpracování tváření za studena.

Při měření nebyla překročena doporučená redukce součásti /45-48 %/ pro materiál ABS. Redukce v našem případě je ve vztahu (1)

$$\frac{140-85}{140} = 40 \%$$

Pro materiál PP Mosten není redukce součásti uvedena. Uvažujeme v našem případě rovněž redukci 40 % pro lepší porovnatelnost obou materiálů.

Výtažky zhotovené z materiálu UMASTYR ABS jsou dle kritéria rozložení tloušťky stěny pro technologii tváření za studena vhodnější. Oba materiály se nejvíce zeslabují v místech maximálního namáhání, t.j. v místě rádiusu dna.

### 3.9.5. ROZLOŽENÍ HUSTOTY VÝTAŽKU

Při procesu tažení dochází k výraznému zředění v oblasti maximálního namáhání. Navenek se toto zředění materiálu projevuje změnou barvy v této oblasti. Velikost zředění nám postihují tabulky XI, XII.

Největší zředění je v oblasti rádiusu dna /vzorek č. 2/. Hustota vzorku je zde nejmenší jak pro materiál ABS /činí 4,9 %/, tak pro materiál PP /činí 1,78 %/. U materiálu PP však zředění probíhá v celé tloušťce stěny, což je patrné na příčném řezu výtažku, kdežto u materiálu ABS je výrazné zředění pouze na povrchu a lze tuto slabou vrstvu odstranit pouhým nehtem, neboť je velice měkká.

#### 4. VYMEZENÍ ROZSAHU POUŽITELNOSTI

Výsledky při praktickém tváření prováděném v experimentální části ukazují, že tvarování desek z termoplastu za studena je možné.

Hlavní problém této nové technologie leží v oblasti materiálů. Zpracování termoplastů za studena klade totiž na tyto plasty vysoké nároky vzhledem k složitému namáhání během vlastního procesu tažení i vzhledem k požadavkům na tvarovou a tepelnou odolnost výtažků. Nejvíce tyto požadavky splňují kopolymery typu ABS pro svoji výhodnou vnitřní strukturu a dobré mechanické vlastnosti. Těchto kopolymerů se dnes vyrábí celá řada, ale typ, který by byl určen přímo pro technologii tváření za studena uveden není. Proto byl vybrán typ kopolymeru ABS dodávaný pod názvem UMASTYR ABS. Jako srovnávací materiál byl vybrán polypropylen MOSTEN. Výsledky měření při procesu tváření ukázaly, že oba dva materiály jsou pro tuto novou technologii použitelné.

Lepší výsledky dával materiál UMASTYR ABS, jehož bude možno pro tuto technologii použít i v praxi. U obou materiálů se ukázalo, že pro dobrou kvalitu výtažku bude nezbytně nutný dokonalý povrch přístřihu, neboť je-li povrch materiálu poškozen /škrábance, vrypy/, dochází v tomto místě k tvorbě trhliny a tím k praskání a znehodnocování výtažku.

Rovněž se při tváření nepříznivě projevila nestejněměrná tloušťka materiálu. Desky z termoplastu jsou totiž vyráběny vytlačováním a dodávány v toleranci tloušťky  $\pm 10\%$ . Tato tolerance je zcela nevýhodná, neboť nestejněměrnost tloušťky vyvolává opět znehodnocení výtažku /má stejný důsledek jako špatná tažná vůle/.

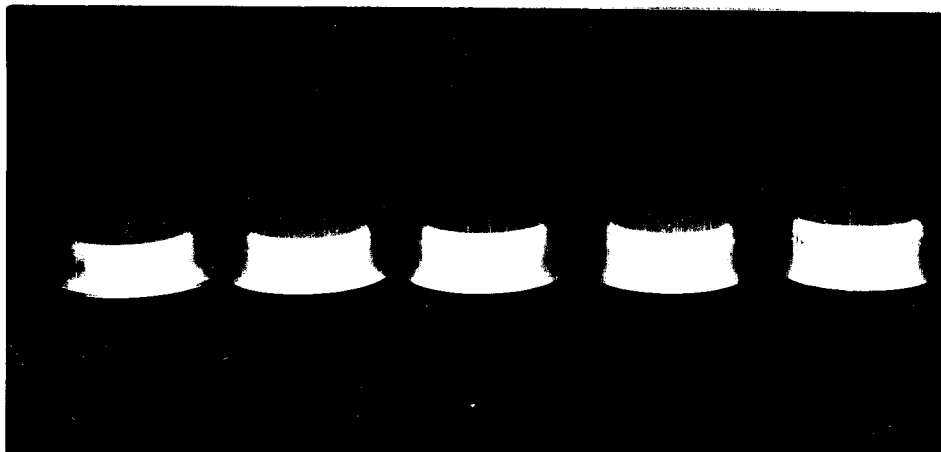
Maximální změna tloušťky smí být  $\pm 5\%$ . Tento požadavek by zřejmě při praktickém zavádění této technologie působil dosti značné problémy.

Povrchová kvalita výtažku u obou materiálů je dobrá. Jediným nedostatkem je zesvětlení v místech největšího namáhání. Tento nepříznivý vliv na vnější vzhled výtažku bude možné vhodným např. mechanickým způsobem odstranit. To se týká ovšem materiálu ABS. U materiálu PP MOSTEN tuto vrstvu odstranit nelze.

U materiálu PP MOSTEN se ještě projevuje nepříznivý vliv mazání, neboť při procesu tažení mazací olej pronikl do zředěné vrstvy a v této oblasti tvoří "mapy". Tyto mapy nelze odstranit, jelikož zředění není pouze v povrchové vrstvě, ale probíhá celým průřezem stěny, na rozdíl od materiálu ABS.

Dále tento materiál vykazuje příliš velké odpružení po procesu tváření, což značně znehodnocuje požadovaný tvar výtažku /Pro srovnání viz obr.21/.

Obr.21 Výtažky zhotovené z materiálu UMASTYR ABS









#### 4.1. ZÁVĚR

Ukolem této práce bylo praktické ověření technologie "tváření termoplastických desek za studena".

Navrženým nástrojem byly zhotoveny výtažky z materiálu UMASTYR ABS a PP-MOSTEN. Zpracovatelné jsou touto technologií oba dva materiály, avšak z hlediska rozměrové stability materiál UMASTYR ABS vykazuje lepší výsledky a rovněž vzhledově je pro praxi více použitelný. PP je možné táhnout větší rychlostí /2,26 mm/s/ oproti materiálu ABS /0,8 mm/s/ při stejném koeficientu tažení, ovšem u PP dochází k většímu ztenčení stěny, což je opět nevýhodné. V oblasti max. namáhání sice u materiálu ABS dochází k většímu zředění, ale na rozdíl od PP toto zředění je pouze v slabé povrchní vrstvě a jde snadno odstranit. U PP změna barvy /zředění/ probíhá stejnoměrně v celém průřezu, což má nepříznivý vliv na vzhled výtažku. Celkově lze říci, že touto technologií je možné zpracovávat především plasty typu ABS o různých tloušťkách, pokud budou termoplastické desky dodávány v dostatečné toleranci. Rychlost tažení je v porovnání s rychlostí tažení plechu poměrně malá, ovšem dá se zvýšit např. snížením koeficientu tažení, zlepšením kvality dodávaných termoplastických desek a konstrukce nástroje. Na tažení mělo nepříznivý vliv špatné vedení stroje ZDM 50, neboť nebyla vždy dodržena přesná poloha tažníku vůči tažnici.

Pro případné pokračování v tomto úkolu doporučuji u tažného nástroje zhotovit odpružený horní přídržovač a zavedení spodního přídržovače pro zlepšení rozměrové stability. Nedošlo by k výraznému vyboulení dna a přílišnému zeslabení stěny. Volba tvářecího stroje

by byla provedena dle grafu závislosti mezního koeficientu tažení na tažné rychlosti. Maximální tažná síla v našem případě byla 20 kN.

Pokud by se po odstranění výše uvedených nedostatků dosáhlo zvýšení rychlosti tažení, tato metoda by měla i značný ekonomický efekt, neboť odpadá doba ohřevu a doba chlazení a dále zde nezáleží oproti tváření za tepla na tloušťce materiálu /prodlouží se doba ohřevu/.

To má význam zvláště v současné době, kdy stoupá spotřeba energie, ovšem její cena v celosvětovém měřítku stále stoupá. Tato metoda by znamenala uspoředení značného množství energie a výrobky zhotovené touto metodou by nahradily kovové materiály, jejichž cena v důsledku stálého snižování surovinových zdrojů se bude také stále zvyšovat.

V Liberci 19.5.1981

*Jan Konečný*

5. SEZNAM LITERATURY

- /1/ SLEZAK, M.: DP - VSST Liberec, 1973
- /2/ CERMAK, J.: Tváření plastických hmot  
"Strojírenská výroba" str. 409-414, 1974
- /3/ WARSHAVSKY, M: Cold Drawability of thermoplastic  
Sheets  
SPE JOURNAL, 26, August 1970
- /4/ DOLEZAL, V: Plastické hmoty  
SNTL Praha 1977
- /5/ HASEK, V.: Tažení  
Lisování str. 122 - 184  
SNTL Praha 1971
- /6/ KATALOG PLASTICKYCH HMOT: Východočeské chemické  
závody Synthesia n.p.  
Pardubice - Semtín
- /7/ CSN 64 0111: Stanovení hustoty plastů  
ST SEV 891-78

6. PŘÍLOHA